

Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Laboratorio de Sistemas Inteligentes

**DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA HARDWARE
PARA LA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL)**

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

AUTOR: Francisco Javier Bermejo Lozoya

DIRECTOR: José María Armingol Moreno

Madrid, 2010





AGRADECIMIENTOS

El diseño del robot F180 para la competición Robocup Small Soccer League ha sido posible gracias al esfuerzo de un equipo humano formado por profesores y estudiantes, que han colaborado implícitamente aportando conocimientos, tiempo y consejos. Todos ellos merecen una mención en este proyecto ya que sin su ayuda no habría visto la luz.

En primer lugar dar las gracias a toda mi familia por su apoyo y paciencia.

Doy las gracias también al director del proyecto José María Armingol por sus ánimos y cooperación y por haber facilitado el desarrollo del proyecto haciendo que las cosas difíciles se simplifiquen.

Gracias a la UC3M por haber proporcionado los laboratorios, material, instrumentación y capitales necesarios para la ejecución del presente proyecto.

Gracias a todos mis compañeros, sin los cuales este proyecto no hubiera sido posible y con los que he compartido tantas horas de trabajo.



ÍNDICE

ÍNDICE, 4

INTRODUCCION, 6

1. REGLAS DE JUEGO DE LA LIGA 2009 PARA LOS ROBOTS F180, 10

- 1.1 LEY 1 - El terreno de juego, 11**
- 1.2 LEY 2 - El balón, 14**
- 1.3 LEY 3 - El número de robots, 14**
- 1.4 LEY 4 - El equipo de robótica, 15**
- 1.5 LEY 5 - El árbitro, 19**
- 1.6 LEY 6 - El árbitro asistente, 22**
- 1.7 LEY 7 - La duración del partido, 22**
- 1.8 LEY 8 - El inicio y la reanudación de juego, 24**
- 1.9 LEY 9 - El balón en juego y parado, 25**
- 1.10 LEY 10 - El método de puntuación, 27**
- 1.11 LEY 11 - Fuera de juego, 27**
- 1.12 LEY 12 - Faltas y conducta antideportiva, 27**
- 1.13 LEY 13 - Tiros libres, 31**
- 1.14 LEY 14 - El tiro de penalti, 32**
- 1.15 LEY 15 - El saque de banda, 34**
- 1.16 LEY 16 - El saque de puerta, 34**
- 1.17 LEY 17 - El saque de esquina, 35**
- 1.18 Apéndice A - Reglas de Competencia, 35**

2. COMPOSICIÓN DEL MICROROBOT F180, 38

- 2.1 Sistema de visión, 39**
- 2.2. Sistema de inteligencia artificial, 39**
- 2.3. Sistema de control del árbitro, 39**
- 2.4. Robots, 40**
- 2.5 Los partidos F180, 40**
- 2.6 ARQUITECTURA DE UN MICROROBOT F180, 41**
 - 2.6.1 Locomoción, 41**
 - 2.6.2 El desplazamiento diferencial, 41**
 - 2.6.3 El desplazamiento omnidireccional, 42**
 - 2.6.4 Control omnidireccional, 44**
 - 2.6.5 Modelo cinemático omnidireccional, 44**
 - 2.6.6 Técnicas para patear la pelota, 54**
 - 2.6.7 Controlando la pelota, 55**
 - 2.6.8 Procesamiento en el robot, 56**



2.6.9 Módulo de comunicación inalámbrica, 57

2.6.10 El protocolo de comunicación, 657

3. DISEÑO DE LA BASE INFERIOR DEL ROBOT, 60

3.1 Sistema de procesamiento de datos, 61

3.1.1 Procesamiento en el robot, 61

3.2 Módulo de comunicación inalámbrica, 65

3.3 Sistema de locomoción, 67

3.3.1 Ruedas omnidireccionales, 67

3.3.2 Modelo cinemático y elección del motor, 68

3.3.3 Control de motores, 78

3.3.3.1 Driver de potencia, 81

3.4 Base, 84

3.5 Alimentación de los robots, 85

3.5.1 Ni/Cd (Níquel/cadmio), 85

3.5.2 Ni/MH (Níquel metalhidruro), 86

3.5.3 Ión Litio (Li-ion), 87

3.5.4 Li-Po (Litio polímero), 87

3.5.5 Plomo ácido, 88

3.5.6 Cargadores, 89

3.5.7 Conclusiones, 89

4. PROGRAMACION, 94

4.1 Descripción del algoritmo del programa principal, 97

4.2 Algoritmos de activación/desactivación de los frenos de los motores, 99

4.3 Algoritmos de tiempos de espera, 100

4.4 Algoritmos de velocidades, 101

4.4.1 Subrutina motores al 50%, 101

4.4.2 Subrutinas de desplazamiento por las diagonales, 102

4.5 Algoritmos de desplazamiento según el eje X, 103

4.6 Algoritmos de desplazamiento según el eje Y, 104

4.7 Algoritmos de desplazamiento según la diagonal de los cuadrantes 2 y 4, 105

4.8 Algoritmos de desplazamiento según la diagonal de los cuadrantes 1 y 3, 107

4.9 Algoritmos de rotación sobre el eje Z, 108

5. BIBLIOGRAFÍA, 109

6. ANEXOS, 110

ANEXO I. CATALOGOS, 111

Placa RabbitCore RCM5400W, 112

Motor MAXON EC 45 FLAT, 124

Driver LMD18200T, 125

Regulador DC/DC MC7812C, 139

Baterías NI/MH, 141



INTRODUCCIÓN

Este proyecto es un trabajo enfocado al diseño e implementación de un equipo de cinco robots autónomos que juegan al fútbol. Los robots forman parte del proyecto RoboCup del Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M.

En la siguiente introducción se describe el problema que el proyecto pretende resolver, se define el objetivo y se acota el alcance del trabajo. Más adelante se expone la justificación que motivó el proyecto y los trabajos relacionados. Finalmente se explica la estructura y el contenido de todo el documento.

En los últimos años la humanidad ha presenciado grandes avances en el campo de la robótica y la inteligencia artificial. En el año de 1997 sucedieron dos grandes hechos que pueden ser considerados como un punto de inflexión: en mayo, Deep Blue de IBM derrotó al campeón mundial de ajedrez y el 4 de julio la misión Pathfinder de la NASA hizo llegar exitosamente a Marte al Sojourner, un sistema robótico. Ese mismo año se llevó a cabo una competición por demás singular: más de cuarenta equipos se reunieron para formar parte del primer campeonato mundial de fútbol robótico.

El origen de esta extraña competición se encuentra en el documento “On Seeing Robots” publicado en 1992 por Alan Mackworth [MAC 1992] de la UBC de Canadá, desde ese momento su equipo de investigación publicó trabajos relacionados con el tema de robots que juegan al fútbol. De manera paralela, un grupo de investigadores japoneses organizó en octubre de 1992 un taller sobre los grandes retos de la inteligencia artificial. En él se discutió la posibilidad de utilizar el fútbol como plataforma de desarrollo para la ciencia y la tecnología.

En junio de 1993, tras una serie de estudios de viabilidad tecnológica y financiera, los japoneses Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi y Hiroaki Kitano decidieron lanzar una competición robótica, llamada originalmente Robot J-League, en honor a la recién creada liga de fútbol profesional de Japón. Unos meses después, la comunidad científica mundial propuso que el proyecto recién creado tuviera alcance mundial. Así nació “The Robot World Cup Initiative”, mejor conocido como el proyecto RoboCup.

Por todo esto, se creó la Federación RoboCup como una organización internacional registrada en Suiza. La federación se encarga de dirigir el esfuerzo de la comunidad científica mundial para promover la ciencia y la tecnología a través de robots y agentes de software que juegan al fútbol. La figura 1 muestra el logotipo de la Federación RoboCup [3].



Figura 1 Logotipo de RoboCup

El proyecto tiene un objetivo ambicioso, se pretende que con la tecnología desarrollada en el año de 2050 un equipo de robots autónomos humanoides sea capaz de derrotar en un partido de fútbol a la selección humana campeona del mundo de ese tiempo. Para lograrlo se han creado varias líneas de investigación que promueven el desarrollo tecnológico y de sistemas inteligentes y colaborativos.

La iniciativa RoboCup se divide en tres grandes áreas: “RoboCup Soccer”, “RoboCup Rescue” y “RoboCup Junior”.

En el presente documento se expone primeramente lo que es la competición de Robocup con su reglamentación para presentar el problema u objetivo que se persigue con el proyecto. A continuación se presentara una descripción detallada de los distintos sistemas que componen cada equipo, y por ultimo se hará especial hincapié en el diseño de la parte Hardware de un microrobot de la competición de Robocup en la categoría de SSL F180.

Las competiciones de fútbol de robots tienen como finalidad la investigación y el desarrollo de un equipo de robots autónomos pero que buscan un fin común y enfrentándose a un entorno dinámico y en continuo cambio de tal forma que pueden llevar a cabo los objetivos cooperando entre ellos. Todas las soluciones ante las adversidades particulares que supone un campeonato de fútbol de robots, son soluciones válidas para cualquier otro contexto, como por ejemplo el rescate de una persona en una situación de peligro.

Actualmente existen diferentes campeonatos de fútbol de robots. Las diferentes ligas atienden a la morfología del robot y siguen diferentes conjuntos de reglas. Dentro de RoboCup Soccer existen cinco categorías de competición, cada una con características muy particulares, y son:

- Liga de simulación, donde no existen robots físicos, sino que se trata de 10 agentes virtuales que se enfrentan en un terreno de juego virtual. Cada Agente envía información a un servidor de simulación y recibe datos sobre su posición y la del entorno.

- Liga de robots de tamaño pequeño, también conocida como SSL por sus siglas en ingles aunque su nombre oficial es F180 (El nombre F180 proviene de los 180mm de diámetro máximo de los robots). Dos equipos de 5 robots cada uno, de un tamaño no



mayor a un cilindro de 180 mm de diámetro y 150 mm de alto, juegan al fútbol en un campo de 6050x4050 mm con una pelota de golf de color naranja. Los robots son totalmente autónomos y un sistema central de visión obtiene la información del ambiente y de los robots, mientras un sistema de control envía instrucciones de manera inalámbrica a los robots.

- Liga de robots de tamaño medio, formado por 4 robots con sensores de abordo para obtener información del entorno y un sistema de visión local.

- Liga de robots con cuatro patas, en el que cuatro robots cuadrúpedos (SONY AIBO) disputan el encuentro y que al igual que en la anterior poseen sensores de abordo y sistema de visión local y se comunican entre ellos.

- Liga de robots humanoides, es la única liga en donde los robots en este caso con forma humana, se permite la intervención humana.

El presente documento se centrará en la liga de robots de tamaño pequeño (Small Size League). En esta competición participan hasta cinco robots pequeños por equipo con un tamaño máximo que se detallara más adelante a lo largo del mismo. Los robots deben ser capaces de saber cual es su posición dentro del terreno de juego, donde se encuentra la pelota y cual es su trayectoria y si esta bajo el control de un robot del mismo equipo o del equipo contrario, de esquivar obstáculos móviles, los robots tanto de un equipo como de otro, interceptar la pelota en su trayectoria, realizar pases, disparos, ejecutar jugadas, etc. Se irá viendo la complejidad de cada una de las acciones descritas anteriormente y las posibles soluciones a cada una de ellas.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M es un centro de investigación enfocado al desarrollo de tecnología en las áreas de inteligencia artificial, visión por computadora, comportamientos autónomos, comunicaciones inalámbricas, colaboración de agentes y robótica. En él, los alumnos de las Ingenierías de la UC3M participan en proyectos motivados por competiciones nacionales e internacionales tales como EUROBOT. En 2008 se decidió comenzar con el proyecto RoboCup en la liga de robots pequeños. Es la primera vez que realiza dicho proyecto en la historia de la UC3M, y el objetivo del presente proyecto será diseñar la base para poder desarrollar un equipo de cinco robots de la liga F180 que cumplan con las reglas establecidas por la Federación RoboCup y puedan participar en competiciones oficiales.

El alcance de este proyecto se centra en el diseño de la base inferior de los robots. El diseño de la solución abarca los módulos que forman parte del robot comenzando por la recepción de información, el procesamiento y su correcta ejecución en los dispositivos actuadores de los motores.

Por tanto el presente proyecto se centra en dotar al futuro robot de:

- Un sistema de procesamiento de datos y de comunicaciones, compuesto por una placa base que incorpora un microprocesador y un sistema WIFI.
- Un sistema de locomoción omnidireccional compuesto por ruedas omnidireccionales, motores, reductoras, encoders y drivers de potencia.



- Un sistema de alimentación compuesto por baterías que dota al robot de autonomía y le permite moverse libremente sin necesidad de estar conectado mediante cables a un sistema de alimentación externo.
- Una base sólida en la que poder fijar los componentes.
- La programación necesaria para el control de la velocidad y dirección de los motores.

De este modo se establecen las bases para los robots de las siguientes generaciones.



CAPITULO 1

1. REGLAS DE JUEGO DE LA LIGA 2009 PARA LOS ROBOTS F180

REGLAS DE JUEGO

Para poder hacerse una idea del proyecto es necesario hacer una breve descripción de lo que será el sistema completo y es necesario conocer cuales son las reglas, limitaciones, etc. que se imponen para ubicarse en el contexto y entender mejor el porqué de cada subsistema. Se describirán por tanto las reglas de juego ya que son importantes a la hora del diseño y en el transcurso de un partido y por tanto son determinantes en el diseño global del sistema.

REGLAS DE JUEGO DE LA LIGA 2009 PARA LOS ROBOTS F180

- LEY 1 - El terreno de juego.
- LEY 2 - El balón.
- LEY 3 - El número de robots.
- LEY 4 - El equipo de robótica.
- LEY 5 - El árbitro.
- LEY 6 - El árbitro asistente.
- LEY 7 - La duración del partido.
- LEY 8 - El inicio y la reanudación de juego.
- LEY 9 - El balón en juego y parado.
- LEY 10 - El método de puntuación.
- LEY 11 - Fuera de juego.
- LEY 12 - Faltas y conducta antideportiva.
- LEY 13 - Tiros libres.
- LEY 14 - El tiro de penalti.
- LEY 15 - El saque de banda.
- LEY 16 - El saque de puerta.
- LEY 17 - El saque de esquina.

Apéndice A - Reglas de Competencia

Notas

Masculino y Femenino.

Las referencias al género masculino en las leyes con respecto a los árbitros, árbitros asistentes, el equipo y los miembros y funcionarios, se aplican por simplificación y se aplican tanto a hombres como a mujeres.

1.1 LEY 1 - El terreno de juego

Dimensiones

El campo de juego debe ser rectangular. Las dimensiones son las líneas de contorno.

Longitud: 6050mm

Anchura: 4050mm

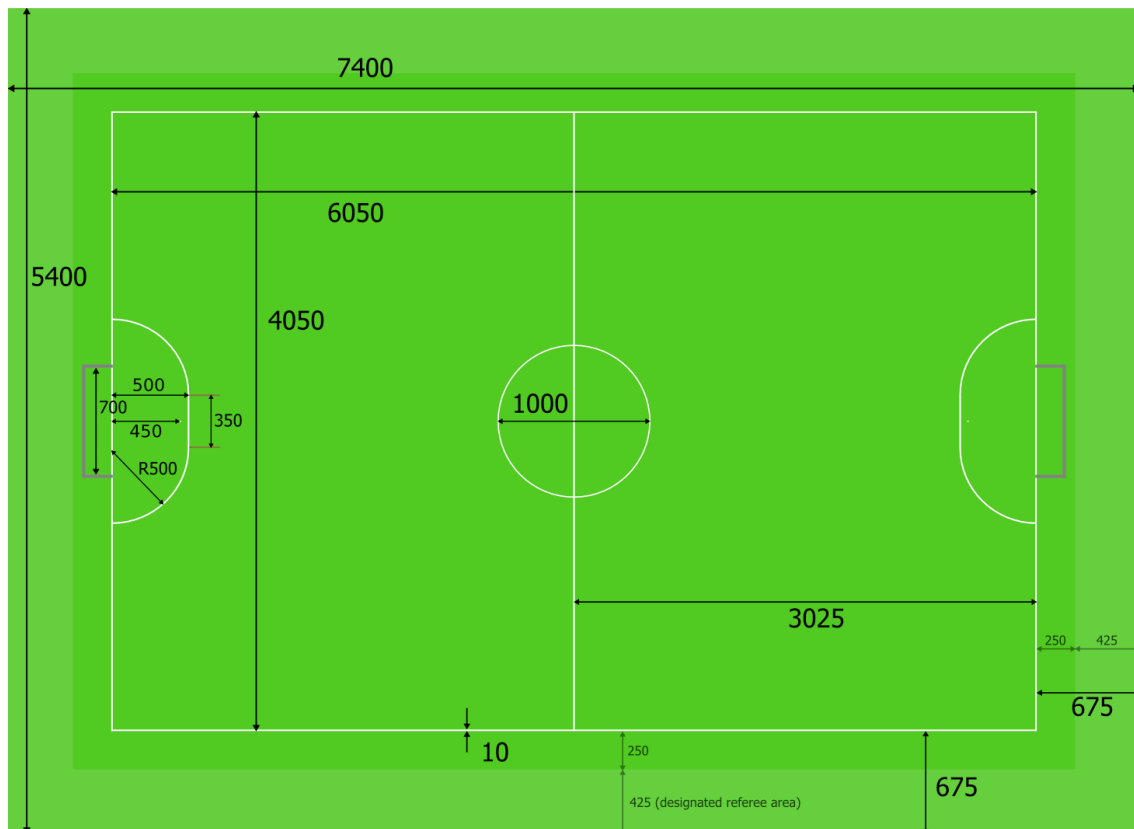


Figura 1.1 Las dimensiones del campo de juego

La superficie del campo

La superficie de juego es de color verde, de fieltro o moqueta. El suelo debajo de la alfombra debe estar nivelado, plano y duro.

La superficie del campo se aumentará 675 mm más allá de las líneas fronterizas por todo el contorno. Los 425mm del exterior de esta zona de escape se utilizan para el



paso del árbitro designado a pie la zona (véase la Ley 5). En el borde de la superficie del campo, una pared de 100mm de altura impedirá que la pelota y los robots salgan fuera del borde exterior.

Campo de Marcas

El terreno de juego está marcado con líneas. Las líneas pertenecen a las áreas, de las que son las fronteras.

Los dos lados más largos se llaman los límites de contacto (las bandas). Los dos lados más cortos se llaman límites de gol.

Todas las líneas son de 10mm de ancho y están pintadas de blanco.

El terreno de juego se divide en dos mitades por una línea en mitad del campo.

La marca de centro se indica en el punto medio de la línea del centro. Un círculo con un diámetro de 1000 mm se caracteriza a su alrededor.

El Área de Defensa

Un área de la defensa se define en cada extremo del campo de la siguiente manera:

Dos cuartos de círculo con un radio de 500 mm se dibujan en el terreno de juego. Estos cuartos de círculo están conectados por una línea paralela a la línea de meta. La configuración exacta se muestra en la figura 1.

La zona delimitada por este arco y la línea de meta es el área de defensa.

Punto de penalti

Dentro de cada área de la defensa se marca un punto de penalti que se sitúa a 450 mm desde el punto medio entre los postes y equidistante a ellos. La marca es un círculo de 10 mm de diámetro de pintura blanca.

Porterías

Las porterías deben ser puestas en el centro de cada límite de gol.

Constan de dos paredes laterales verticales de 160 mm, unidas por la detrás por una pared vertical de 160 mm.

La cara interna de la meta tiene que ser cubierta con un material absorbente de energía como la espuma para ayudar a absorber los impactos de las bolas y disminuir la velocidad de las desviaciones. Respecto a las porterías, las paredes, los bordes, y las tapas son de color blanco.

Hay una barra redonda de acero con forma de cruz que recorre la parte superior de la portería y esta dispuesta en paralelo a la línea de meta. No tiene de más de 10 mm de diámetro, pero es lo suficientemente fuerte para desviar el balón. La parte inferior de la barra está a 155 mm de la superficie del campo, y la barra es de color oscuro para reducir al mínimo la interferencia con los sistemas de visión. La parte superior de la meta está cubierta por una red fina para evitar que la bola pueda entrar en la portería desde arriba. Se sujeta de forma segura a la barra y las paredes de la portería.

La distancia entre las paredes laterales es de 700 mm. La meta es de 180 mm de profundidad. La distancia desde el borde inferior del larguero a la superficie de juego es de 150 mm.

El piso interior de la portería es el mismo que el resto de la superficie de juego.

Las paredes de la portería son de 20 mm de espesor.

Las porterías deben estar ancladas firmemente a la superficie de terreno.

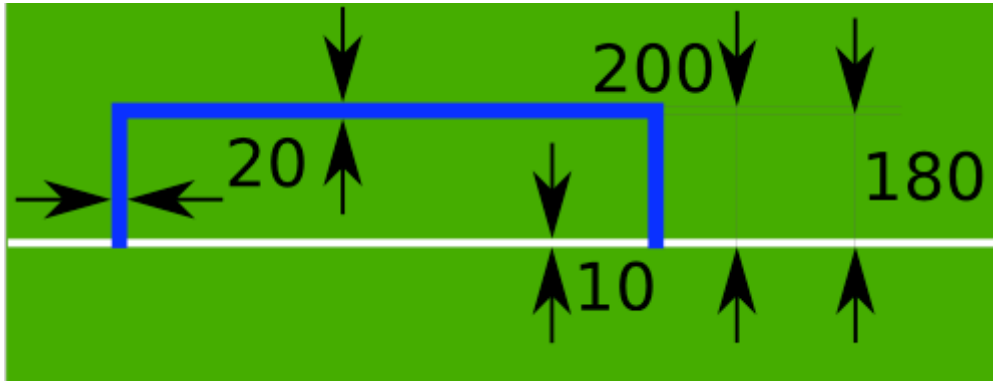


Figura 1.2 La portería en detalle

Equipo para montaje de las cámaras.

La barra de montaje estará a 4 m de altura sobre el terreno. La barra se coloca por encima de la línea media del campo, de meta a meta. La barra debe montarse de forma segura para que no se descuelgue bajo una fuerza externa pequeña, y no debe doblarse o torsionarse de manera significativa cuando el peso del equipo de vídeo sea añadido.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

El comité organizador local, debe procurar proporcionar uniformes, las condiciones de luz difusa serán de aproximadamente 500 LUX o más brillante. No se utilizará un equipo de iluminación especial para proporcionar estas condiciones. El brillo no está garantizado ni se espera que esté completamente uniforme a través de la superficie del campo. Se espera que los equipos sean autosuficientes para hacer frente a las variaciones que se produzcan cuando se utiliza la iluminación ambiente. El comité organizador dará a conocer detalles de la iluminación de acuerdo a la competición tan pronto como sea posible.

Decisión 2

Ningún tipo de publicidad comercial, ya sea real o virtual, está permitido en el terreno de juego ni en los equipos de campo (incluidas las redes y las áreas que delimitan) desde el momento en que los equipos entran en el terreno de juego hasta el descanso y desde éste hasta el momento en que vuelven a entrar en el terreno de juego hasta el final del partido. En particular, ningún material de publicidad de cualquier tipo puede aparecer dentro de los objetivos o las paredes. Los equipos ajenos (cámaras, micrófonos, etc.) también se ajustarán a estas normas.



Decisión 3

El color específico y la textura de la superficie no se especifican y pueden variar de una competición a otra (como los campos de fútbol reales pueden variar). La superficie por debajo de la alfombra será nivelada y dura. Ejemplos de las superficies aprobadas incluyen: cemento, linóleo, pisos de madera, madera contrachapada, mesas de ping-pong, tableros de partículas y moquetas. Las superficies acolchadas no están permitidas. Todo el esfuerzo será hecho para asegurar que la superficie sea plana, sin embargo, corresponde a los equipos individuales el diseño de sus robots para hacer frente a la ligera curvatura de la superficie.

1.2 LEY 2 - El Balón

Calidades y Medidas

La pelota es una pelota de golf estándar de color naranja. Será:

- esférica.
- de color naranja.
- de aproximadamente 46 g de la masa.
- de aproximadamente 43 mm de diámetro.

La sustitución de una pelota defectuosa

Si el balón se vuelve defectuoso durante el transcurso de un partido:

- el partido se detiene.
- el partido se reanudará mediante la colocación de la bola de sustitución en el lugar donde la primera bola se convirtió en defectuosa.

El balón no puede ser cambiado durante el partido sin la autorización del árbitro.

1.3 LEY 3 - El número de robots

Robots

Un partido se juega con dos equipos, cada uno compuesto de no más de cinco robots, uno de los cuales deberá ser el portero. Cada robot debe ser claramente numerado de modo que el árbitro pueda identificarlo durante el partido. El portero debe ser designado antes del comienzo del partido. Un partido no puede comenzar a menos que ambos equipos designen antes un portero.

Intercambio

Los robots pueden ser intercambiados. No hay límite en el número de intercambios.

Procedimiento de intercambio

Para el intercambio de un robot, las siguientes condiciones deben ser observadas:

- El intercambio sólo puede hacerse durante una interrupción del juego.
- El árbitro ha sido informado antes de que el intercambio se haga.
- El robot de intercambio entra el campo de juego después de que el robot a sustituir ha sido eliminado.

- El robot de intercambio entra en el campo de juego en la línea del centro.

Cambiar el portero

Cualquiera de los otros robots pueden cambiar de lugar con el portero, siempre que:

- el árbitro esté informado antes de efectuarse la modificación.
- el cambio se realiza durante una interrupción en el partido.

Robots Expulsados

Un robot que ha sido expulsado se puede intercambiar por otro robot que sale del campo.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

Cada equipo debe tener un único controlador de robot encargado de realizar el intercambio y del robot cuando sea necesario. No hay otros miembros del equipo que puedan invadir el área que rodean el campo. El movimiento de los robots por el controlador no está permitido.

1.4 LEY 4 - El equipo de robótica

Seguridad

Un robot no debe tener nada en su construcción, que sea peligroso para sí mismo, otro robot o los seres humanos.

Forma

Un robot debe caber en un cilindro de 180 mm de diámetro y una altura de 150 mm o menos.

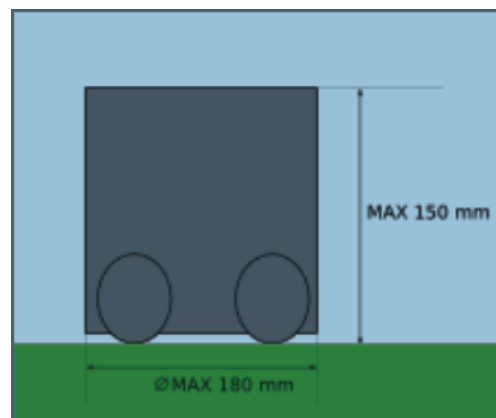


Figura 1.3 Las dimensiones máximas robot



Los colores y marcadores

Antes de que comience el partido, cada uno de los dos equipos tiene un color asignado, es decir, amarillo o azul. Cada equipo debe ser capaz de usar marcadores de color amarillo y azul. Las marcas circulares del color asignado deben ser puestas en la parte superior de los robots. El centro de la marca debe estar ubicado en el centro visual del robot cuando se ve desde arriba. Los marcadores deben tener diámetro de 50 mm. Los robots podrán utilizar colores en blanco y negro sin ninguna restricción. Los robots también pueden utilizar marcas de color verde claro, rosa y cian.

Locomoción

Las ruedas Robot (u otras superficies que entren en contacto con la superficie de juego) deben ser hechas de un material que no dañe la superficie de juego.

Comunicación inalámbrica

Los robots pueden utilizar la comunicación inalámbrica con las computadoras o las redes situadas fuera del campo.

Visión Global del Sistema

El uso de un sistema de visión global o de sistemas externos de visión distribuidos es permitido pero no necesario, para identificar y rastrear la posición de los robots y la pelota. Esto se logra mediante el uso de una o más cámaras. Las cámaras no pueden sobresalir más de 150 mm por debajo de la parte inferior del montaje suministrado por el campo.(Ley 1).

Autonomía

El equipo de robots será plenamente autónomo. Las operaciones humanas no están permitidas. No se permite introducir información en el equipo durante un partido, excepto en el descanso o durante un tiempo de espera.

Regateo

Los dispositivos que ejercen activamente un movimiento en la bola, para mantener la bola en contacto con el robot, se permiten bajo ciertas condiciones. El giro ejercido sobre la bola debe ser perpendicular al plano del campo. No se permiten dispositivos verticales o parcialmente verticales para mantener la bola en contacto con el robot en los lados del mismo. El uso de dispositivos de regateo también está restringido por la Ley 12, libre indirecto.

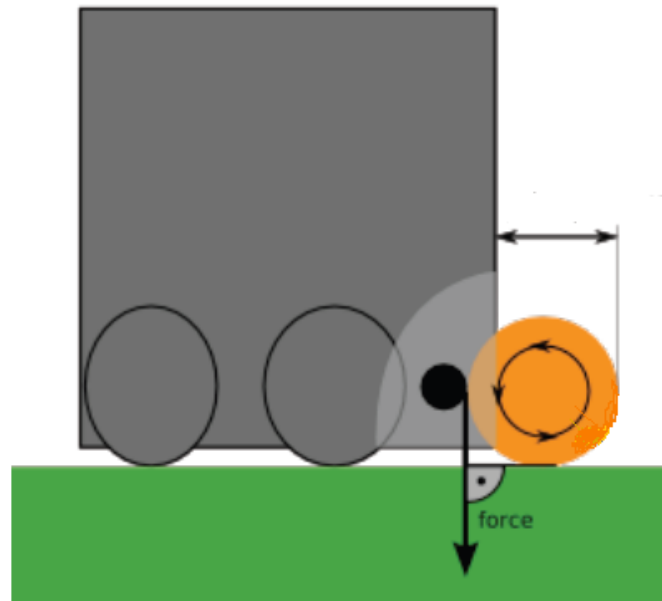


Figura 1.4 Sistema de regateo

Infracciones / Sanciones

Para cualquier infracción de la presente Ley:

- El juego no necesita ser detenido.
- El robot infractor es instado por el árbitro a abandonar el terreno de juego para corregir su equipo.
- El robot deja el campo de juego cuando la pelota deja de estar en juego.
- Ningún robot obligado a abandonar el terreno de juego para corregir su equipo no vuelve a entrar sin el permiso del árbitro.
- El árbitro comprueba que el equipo del robot es correcto antes de permitir que vuelva a entrar en el terreno de juego.
- Al robot sólo se le permite volver a entrar en el terreno de juego cuando el balón está parado.
- Un robot que ha sido obligado a abandonar el terreno de juego debido a una infracción de la presente ley y que entra (o vuelve a entrar) al terreno de juego sin el permiso del árbitro es amonestado y se le muestra la tarjeta amarilla.

Reanudación del juego

Si el juego es detenido por el árbitro por que se hace necesario toma alguna precaución:

- El partido se reanudará con un tiro libre indirecto a lanzar por un robot de la parte contraria, desde el lugar donde se encontraba el balón cuando el árbitro detuvo el partido.



Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

Los participantes que utilizan las comunicaciones inalámbricas notificarán al comité organizador local el método de comunicación inalámbrica, potencia y frecuencia. El comité organizador local será notificado de cualquier cambio después de la inscripción tan pronto como sea posible.

Con el fin de evitar la interferencia, un equipo debe ser capaz de seleccionar entre dos frecuencias portadoras antes del partido. El tipo de comunicación inalámbrica se ajustará a las normas legales del país donde se celebre la competición. El cumplimiento de las leyes locales es responsabilidad de los equipos que compiten, no de la Federación RoboCup. El tipo de comunicación inalámbrica puede también ser restringido por el comité organizador local. El comité de organización local dará a conocer cualquier restricción a la comunidad lo antes posible.

Decisión 2

No permitir los dispositivos está permitido.

Decisión 3

Puntas de metal y el velcro está específicamente prohibido con el propósito de la locomoción.

Decisión 4

La comunicación inalámbrica Bluetooth no está permitida.

Decisión 5

Los colores oficiales serán proporcionados por el comité organizador. Los equipos deben usar los colores oficiales a menos que ambos equipos no estén de acuerdo.

Decisión 6

Adhesivos, como pegamento o cinta no pueden ser utilizados con fines de control del balón o para construir dribladores (sistemas de regateo). El uso de dispositivos que utilizan por ejemplo un adhesivo para adherir la pelota a un robot se consideran una violación de la Regla 12, Decisión 4, por "la eliminación de todos los grados de libertad de la pelota". Además, el uso de adhesivos para cualquier propósito en el robot que provoque residuos sobre el balón o el campo, se considera como daño y son sancionados según la Ley 12.

Decisión 7

Un chequeo de las normas se realiza en todos los robots en la competición antes del primer partido. Si algún componente de cualquier robot se considera que infringe una



norma debe ser modificado para ser compatible antes de que pueda participar en los partidos.

1.5 LEY 5 - El árbitro

La autoridad del árbitro

Cada partido es controlado por un árbitro que tiene plena autoridad para hacer cumplir las Reglas de Juego en relación con el partido para el que ha sido nombrado.

Atribuciones y Deberes

El árbitro:

- Hace cumplir las Leyes del Juego y controla el partido en cooperación con los árbitros asistentes.
- Se asegura de que cualquier pelota utilizada cumpla los requisitos de la Ley 2.
- Asegura que el equipo de robótica cumple con los requisitos de la Ley 4.
- Informa a los árbitros asistentes de cuando comienzan y terminan los períodos de tiempo, de conformidad con La Ley 7.
- Se detiene, suspende o termina el partido, a su discreción, por cualquier infracción de las leyes.
- Se detiene, suspende o termina el partido debido a interferencias externas de cualquier clase.
- Se detiene el partido si, en su opinión, un robot es probable que cause daños graves a los seres humanos, otros robots o a sí mismo y asegura que se retira del terreno de juego.
- Colocar la bola en una posición neutral, si se queda atrapada durante el juego.
- permite que el juego continúe si el equipo contra el que se ha cometido una falta se beneficia de tal ventaja y penaliza la falta original si no de produce dicha ventaja en ese momento.
- Castiga con la pena máxima cuando un robot comete más de una falta en el mismo tiempo.
- Toma medidas disciplinarias contra los robots infractores y puede expulsarlos. No está obligado a tomar esta medida inmediatamente, pero debe hacerlo cuando la pelota sale del terreno de juego.
- Toma medidas contra los responsables del equipo que no se comporten de una manera responsable y puede a su discreción, expulsarlos del terreno de juego y sus alrededores inmediatos.
- Actúa con el asesoramiento de los árbitros asistentes en relación con incidentes que no ha visto.
- Garantiza que ninguna persona no autorizada invada el terreno de juego.
- Reanuda el partido después de haber sido detenido.
- Proporciona al comité técnico con un informe del partido que incluye información sobre cualquier medida disciplinaria adoptada contra los responsables del equipo y otros incidentes ocurridos antes, durante o después del partido.

Decisiones del árbitro

Las decisiones del árbitro sobre hechos relacionados con el partido son determinantes.



El árbitro sólo puede cambiar una decisión al darse cuenta de que es incorrecta o, a su discreción, debido al consejo de un árbitro asistente, siempre que no haya reanudado el juego.

Equipo de señalización del Árbitro

El dispositivo necesario se suministra para convertir las señales del árbitro en serie y Ethernet. Las señales de comunicación se transmiten a ambos equipos. Los equipos serán operados por el árbitro asistente. Los detalles del equipamiento serán suministrados por la organización local de Comité antes de la competición.

Señales del Árbitro

Durante un partido, el árbitro de la señal de inicio y fin del juego en la forma habitual. El árbitro asistente enviará señales que reflejarán las decisiones del árbitro a cada uno de los equipos. Ninguna interpretación de las señales del árbitro por los operadores humanos está permitida.

La señal del silbato indica que el árbitro ha parado el juego, y que todos los robots deben separarse 500 mm de la pelota para que el árbitro pueda colocar el balón para reiniciar el sistema. Todos los robots tienen la obligación de separarse 500 mm de la bola mientras esta se mueve a la posición de reiniciar.

Cuando se produce un gol (Ley 10), o una precaución o se produce una salida de la pelota del campo de juego (Ley 12), una señal de información es enviada a los equipos para indicar la decisión del árbitro.

El tipo de señal de reinicio indicará el tipo de reinicio. Los robots deben moverse a posiciones legales a la recepción de esta señal. Para reiniciar otras acciones que no sean un saque inicial (Ley 8) o un penalti (Ley 14), el robot que saque puede patear el balón cuando esté listo, sin esperar más señales del árbitro.

Para un saque inicial (Ley 8), o un penalti (Ley 14), una señal de arranque será enviada para indicar que el Robot que lance puede proceder. Esta señal será distinta a otros tipos de señales de reinicio del juego.

Señales que indiquen los períodos de tiempo de espera y el tiempo perdido también se enviará cuando sea necesario.

Se considerará que el árbitro ha dado una señal cuando el árbitro asistente envíe esta señal a los equipos mediante las comunicaciones.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

El árbitro (o en su caso, un árbitro asistente) no es responsable de:

- Cualquier tipo de perjuicio sufrido por un componente del equipo o un espectador.
- Cualquier daño a la propiedad de cualquier tipo.
- Cualquier otra pérdida sufrida por cualquier persona, club, empresa, asociación u otro organismo, que es debido o que puede ser debido a cualquier decisión que se tome en virtud de los términos de las leyes del juego o en el caso de los procedimientos normales requeridos para conservar, reproducir y controlar un partido.

Esto puede incluir:



- La decisión de que la condición del terreno de juego o sus alrededores son tales como para permitir o no a la permitir que un partido que tenga lugar.
- La decisión de abandonar un partido por cualquier razón.
- Una decisión en cuanto a la condición de los accesorios o equipos utilizados durante un partido como el campo y la pelota.
- La decisión de detener o no detener a un partido debido a la interferencia del espectador o cualquier problema en el área de los espectadores.
- La decisión de detener o no detener el juego para permitir que un robot dañado pueda ser eliminado del campo de la jugar para su reparación.
- La decisión de solicitar o insistir en que un robot dañado se retire del terreno de juego para su reparación.
- La decisión de permitir o no permitir a un robot ciertos colores.
- La decisión (en la medida en que esta puede ser su responsabilidad) para permitir o no permitir a las personas (incluyendo el equipo o funcionarios del estadio, oficiales de seguridad, fotógrafos u otros medios, representantes, etc.) para estar presentes en las inmediaciones del campo de juego.
- De cualquier otra decisión que pueda tomar de acuerdo con las Reglas de Juego o de conformidad con sus obligaciones bajo los términos de la Federación RoboCup o las normas o regulaciones bajo las cuales se juega el partido.

Decisión 2

Los hechos relacionados con el partido serán incluidos tanto si se marca un gol o no, así como el resultado del encuentro.

Decisión 3

El árbitro debe usar un bastón negro, o algún otro dispositivo al reposicionamiento de la bola para reducir el riesgo de interferencias con los sistemas de visión.

Decisión 4

El árbitro podrá ser asistido por árbitros autónomos proporcionados por uno o ambos de los equipos que compiten, si ambos equipos están de acuerdo.

La región externa de la superficie del campo que está más allá de 250 mm de distancia de la línea divisoria será utilizada como zona de paso designado para el árbitro y/o el árbitro asistente durante el juego.

Los equipos deben controlar a sus robots para permanecer fuera de esta zona para no interferir con los árbitros.

Los árbitros no son responsables de cualquier obstrucción a los robots o sistemas de visión dentro de esta área.

Sin embargo, los árbitros deberán llevar ropa y zapatos que no contienen ningún color reservado para la bola o los marcadores de los robots.



1.6 LEY 6 - El árbitro asistente

Deberes

El árbitro asistente nombrado, con sujeción a la decisión del árbitro, tiene las siguientes obligaciones:

- Actuar como cronometrador y llevar un registro del partido.
- Operar el equipo de comunicaciones para transmitir las señales del árbitro sobre los enlaces de comunicaciones.
- Supervisar a los operadores de los robots para evitar que señales ilegales sean enviadas a los robots.
- Indicar cuando se solicita un intercambio.
 - Indicar cuando una mala conducta o cualquier otro incidente se ha producido fuera de la vista del árbitro.
 - Indicar cuando se comete una infracción, si los asistentes se acercan más a la acción que el árbitro (esto incluye, en determinadas circunstancias, las faltas cometidos en la defensa del área)
 - Indicar si, en los penaltis, el guardameta se ha movido hacia delante antes de que el balón ha sido golpeado y si el balón ha cruzado la línea de meta.

Asistencia

Los árbitros asistentes también ayudaran al árbitro a controlar el partido, de conformidad con las Leyes de del juego. En el caso de una interferencia indebida o conducta incorrecta, el árbitro dará liberará a un árbitro asistente de sus funciones, para que prepare un informe para el comité organizador.

Decisión 1

Un segundo árbitro asistente se utilizará siempre que sea posible. El árbitro asistente de segunda, ayuda al árbitro en la colocación del balón en el campo, así como ayuda a vigilar el cumplimiento con todos las leyes y procedimientos.

1.7 LEY 7 - La Duración del Partido

Períodos de juego

El partido tiene dos periodos iguales de 10 minutos, salvo mutuo acuerdo entre el árbitro y los dos equipos participantes. Cualquier acuerdo para alterar los períodos de juego (por ejemplo, para reducir cada mitad a 7 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes del inicio del juego y deben cumplir con las normas de competición.



Intermedio

Los equipos tienen derecho a un intermedio a mitad del partido. El tiempo medio de intervalo no deberá exceder de 5 minutos.

Las normas de competición deben indicar la duración del intermedio o descanso. La duración del descanso puede ser modificada únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

Tiempos de espera

A cada equipo se le otorga cuatro tiempos de espera al comienzo del partido. Un total de 5 minutos es permitido para todos los tiempos de espera. Por ejemplo, un equipo puede tomar tres tiempos de espera de un minuto de duración y, posteriormente, sólo tienen un tiempo de espera de hasta dos minutos de duración. Los tiempos de espera sólo pueden ser consumidos durante una interrupción del juego. El tiempo es controlado y registrado por el árbitro asistente.

Indemnización por el tiempo perdido

Se tiene en cuenta cualquier período de tiempo perdido para todos a través de: sustituciones, evaluación de los daños a los robots, la eliminación de los robots dañados en el terreno de juego y cualquier otra causa que suponga la pérdida de tiempo.

La indemnización por el tiempo perdido es a discreción del árbitro.

Tiempo Extra

Las normas de la competición podrán prever dos tiempos suplementarios iguales. Las condiciones de la Ley 8 serán aplicadas.

Abandonar el partido

Un partido abandonado se repite a menos que las normas de la competición dispongan otra cosa.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

El comité organizador local hará todo lo posible para proporcionar acceso a los equipos de la competición al menos dos horas antes del inicio de la competición. También se esforzará por permitir al menos una hora de tiempo de configuración antes de cada partido. Los participantes deben ser conscientes, sin embargo, que puede ocurrir que este tiempo no se pueda proporcionar.

Decisión 2

Dentro de estas reglas, el término "interrupción del juego" se usa para describir los momentos en que el modo de juego se encuentra en un estado detenido. El juego no se considera parado si los robots se detienen cuando se les permite golpear la pelota.



1.8 LEY 8 - El inicio y la reanudación de juego

Preliminares

Si ambos equipos tienen una frecuencia preferida común para las comunicaciones inalámbricas, el comité organizador local asignará la frecuencia para la primera mitad del partido. Si ambos equipos tienen un color preferido común, el comité organizador local asignará el color de la primera la mitad del partido.

Se lanza una moneda y el equipo que gane el sorteo decidirá qué meta atacará en la primera la mitad del partido.

El otro equipo toma realiza el saque para comenzar el partido.

El equipo que gane el sorteo tiene el saque inicial para comenzar la segunda mitad del partido.

En la segunda mitad del partido, los equipos cambian de campo.

Si los equipos no están de acuerdo para cambiar campos, pueden permanecer en los mismos que el primer tiempo con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una frecuencia común predefinida para las comunicaciones inalámbricas, los equipos deberían cambiar la asignación de esa frecuencia para la segunda mitad del partido. Los equipos pueden acordar no cambiar la asignación de la frecuencia predefinida para la segunda mitad del encuentro con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una marca común de color preferido, los equipos deben cambiar los colores de marcado en la segunda mitad del partido. Si los equipos están de acuerdo para no cambiar la marca de colores, no la cambiarán con el consentimiento del árbitro.

Saque desde el centro del campo.

Un saque desde el centro del campo es una forma de iniciar o reiniciar el juego:

- En el inicio del partido.
- Después de que un gol haya sido anotado.
- Al comienzo de la segunda mitad del partido.
- Al comienzo de cada período de tiempo adicional, cuando proceda.

Un gol puede ser anotado directamente desde el saque inicial.

Procedimiento

- Todos los robots se encuentran en su propia mitad del campo.
- Los oponentes del equipo que toman el pistoletazo de salida están por lo menos a 500 mm de la bola hasta que el balón esta en el juego.
- El balón está parado en el centro del campo hasta que el árbitro da la señal de saque.
- La pelota está en juego cuando es pateado y se mueve hacia delante.
- El lazador no podrá toca el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.

Después de que un equipo anota un gol, el pistoletazo de salida es tomado por el otro equipo.



Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de los saques de salida el procedimiento será:

- El pistoletazo de salida se repite.

Situando la pelota

Es necesario colocar la pelota, por parte del árbitro, tras un paro temporal para reanudar el partido, mientras la bola está en juego, por cualquier razón no mencionada en otras partes de las leyes del juego.

Procedimiento

El árbitro pone el balón en el lugar donde se encontraba la pelota cuando se detuvo el juego. Por la Ley 9, todos los robots están obligados a permanecer a 500 mm de la bola mientras la bola está siendo colocada. El juego se reinicia cuando el árbitro da una señal.

Infracciones / Sanciones

La pelota se coloca de nuevo:

- Si un robot esta a menos de 500 mm de la pelota antes de que el árbitro de la señal.

Circunstancias especiales

Un tiro libre concedido al equipo defensor dentro de su propia área de defensa se realiza desde la posición de tiro cercana a donde se produjo la infracción, elegida por el propio equipo.

Un tiro libre, concedido al equipo atacante en el área de defensa de sus oponentes, es lazado desde la posición legal predefinida de tiro libre más cercana al lugar donde se produjo la infracción.

Una pelota que esta en condiciones de reiniciar el partido después de que la jugada ha sido detenida temporalmente en el interior de la zona defensiva. Se coloca sobre la posición legal de tiro libre más cercana a donde se encontraba el balón cuando la jugada se detuvo.

1.9 LEY 9 - El balón en juego y parado

Balón parado

La pelota está parada cuando:

- Ha cruzado los límites del campo sea por el suelo o por el aire.
- El juego ha sido detenido por una señal del árbitro.

Cuando la bola sale fuera de juego, los robots deben seguir estando a 500 mm de la bola mientras ésta se coloca, hasta que la señal de reinicio es dada por el árbitro.



Balón en juego

La pelota está en juego en cualquier otro momento.

Infracciones / Sanciones

Si, en el momento en que el balón entra en juego, un miembro del equipo que saca esta a una distancia inferior de 200 mm de la zona de defensa del oponente:

- si un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario, el tiro se lanzará desde la ubicación en la que se encontraba la pelota cuando se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador toca el balón por segunda vez antes de que lo haya tocado a otro robot:

- Se concede un tiro libre indirecto al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador deliberadamente sostiene el balón antes de que lo haya tocado otro robot:

- Un tiro libre directo es concedido al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de darse una señal para reiniciar el juego, el balón no entra en juego en 10 segundos, o la falta de progreso indica claramente que la pelota no entrará en juego en 10 segundos:

- El juego se detiene por una señal del árbitro.
- Todos los robots tienen que moverse a 500 mm de la pelota.
- Se indica un saque neutral.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

Para todos los reinicios en que las leyes establecen que la pelota está en juego bien sea golpeándola o regateando, los robots deben claramente hacer lo posible para que ésta se mueva. Se entiende que la pelota puede permanecer en contacto con el robot o ser golpeada por el robot varias veces a corta distancia, pero bajo ninguna circunstancia el robot mantendrá el contacto o se mantendrá tocando la pelota después de haber recorrido una distancia de 50 mm, a menos que el balón haya tocado antes a otro robot. Los robots pueden utilizar los dispositivos de regateo y patada en los saques de las faltas.

Decisión 2

La zona de exclusión de 200 mm de la zona de la defensa del oponente se designa para permitir a la defensa de los equipos tomar una posición defensiva contra un lanzamiento sin la interferencia de los oponentes. Este cambio se ha añadido para ayudar a los equipos de defensa contra saques de esquina en los que los equipos usan un saque elevado y la pelota pasa directamente a la zona de defensa.



1.10 LEY 10 – EL MÉTODO DE PUNTUACIÓN

Puntuación de Gol

Se marca un gol cuando el total de la pelota pasa por encima de la línea de meta, entre las paredes de la portería o por debajo del travesaño, sin que se haya cometido una infracción de las reglas de juego con anterioridad por parte del equipo que anotar el gol.

Equipo ganador

El equipo que anota el mayor número de goles durante un partido es el ganador. Si los dos equipos marcan un número igual de goles, o si no se marcó ningún gol, el partido se da como empatado.

Las normas de competición

Para los partidos que terminan en un empate, las normas de competición podrán estipular un tiempo suplementario, u otro método aprobado por la Federación RoboCup para determinar el ganador del partido.

1.11 LEY 11 - Fuera de juego

La regla del fuera de juego

La regla del fuera de juego no se usa en esta competición.

1.12 LEY 12 - Faltas y conducta antideportiva

Las faltas y la conducta antideportiva se sancionan como sigue:

Tiro libre directo

Un tiro libre directo es concedido al equipo adversario si un robot comete cualquiera de las siguientes cuatro infracciones:

- Hacer contacto sustancial con un oponente.
- Retener a un oponente.
- Sostener el balón deliberadamente (excepto para el guardameta dentro de su ámbito de la defensa propia).
- Es el segundo robot de la defensa y a la vez ocupa el área de la defensa del equipo de tal forma de afectar sustancialmente el juego.

Un tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.



Penalti

Un tiro de penalti se otorga si alguna de las anteriores cuatro infracciones es cometida por un robot dentro del área de defensa propia, independientemente de la posición de la pelota, siempre y cuando ésta esté en juego.

Tiros libres indirectos

Un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario si el guardameta, dentro de su propia área defensiva, comete cualquiera de las siguientes infracciones:

- Transcurren más de quince segundos mientras sostiene la pelota antes de liberarla de su posesión.
- Tiene el balón de nuevo después de haber sido liberado de su posesión y no lo ha tocado otro robot.

Un tiro libre indirecto además es concedido al equipo adversario si un robot:

- Entra en contacto con el portero y el punto de contacto está en el área de defensa.
 - Conduce el balón a una distancia superior a 500 mm.
 - Tocó la pelota de tal manera que la parte superior de la bola alcanza una altura superior a 150 mm respecto del suelo y el balón entra en la meta de su oponente, salvo que haya sido tocado previamente por un compañero de equipo, o que manteniéndose en contacto con el suelo alcance dicha altura y entre en la meta de su oponente debido a un rebote.
 - Patea la pelota de tal manera que supera los 10 m /s de velocidad.
 - Comete cualquier otra infracción, que no se haya mencionado anteriormente en la Ley 12, por la que se interrumpirá el juego por precaución o para expulsar al robot.
- El tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.

Sanciones disciplinarias

Amonestaciones

Un equipo será amonestado y recibirá la tarjeta amarilla si un robot del equipo comete cualquiera de las siguientes infracciones:

1. Es culpable de conducta antideportiva.
2. Es culpable de graves y violentos contactos.
3. Infringe persistentemente las Reglas de Juego.
4. Retrasa la reanudación del juego.
5. No respetar la distancia reglamentaria cuando el juego se reanudará con un saque de puerta, saque de esquina o tiro libre.
6. Modifica o provoca daños en el campo o pelota.
7. Deliberadamente entren o se desplacen dentro de la zona de tránsito del árbitro.

Al recibir una tarjeta amarilla, un robot del equipo penalizado debe mover inmediatamente fuera y ser removido del campo. Después de dos minutos de juego (según lo medido por el árbitro asistente utilizando el tiempo de juego oficial) el robot puede entrar de nuevo en el campo en la próxima parada del juego.



Expulsión

Un equipo recibe la tarjeta roja si uno de los robots o el equipo es culpable de un comportamiento antideportivo grave. El número de robots en el equipo se reduce en uno después de cada tarjeta roja.

Las decisiones del Comité Técnico F180

Decisión 1

Contacto importante es el contacto suficiente para desalojar al robot de su orientación actual, posición o movimiento en el caso de que se esté moviendo. Cuando los dos robots se mueven a velocidades similares, y la causa de contacto no es evidente, el árbitro permitirá que el juego continúe. Esta ley está diseñado para proteger a los robots que son lentos o permanecen estacionarios en el momento del contacto, y por tanto deben ser detectados por los sistemas de evasión de obstáculos.

Decisión 2

Las precauciones para evitar contactos graves y violentos son una manera de desalentar a los equipos de ignorar el espíritu del principio de no contacto. Como ejemplos de infracciones amonestables se incluyen el movimiento incontrolado, las pobres evasiones de obstáculos, empujar o girar rápidamente mientras se está junto a un oponente. En un escenario típico, el árbitro podrá advertir al equipo, y se espera que se modifique su sistema a fin de reducir la violencia de su juego. Si el árbitro aún no está satisfecho, dictará una amonestación.

Decisión 3

Un robot que se coloca en el campo, pero claramente no es capaz de moverse, será sancionado por conducta antideportiva.

Decisión 4

Un robot esta reteniendo el balón si toma el control total del balón mediante la eliminación de todos sus grados de libertad, por lo general, la fijación de un balón en el cuerpo o rodear un balón con el cuerpo para prevenir el acceso de otros. El 80% de la superficie de la bola cuando se ven desde arriba debe estar fuera de la parte convexa que rodea el robot. Otro robot debe ser capaz de quitar el balón a otro robot que posee la pelota. Esta limitación se aplica también a todos los dispositivos de regateo y patada, incluso si tal infracción es momentánea.

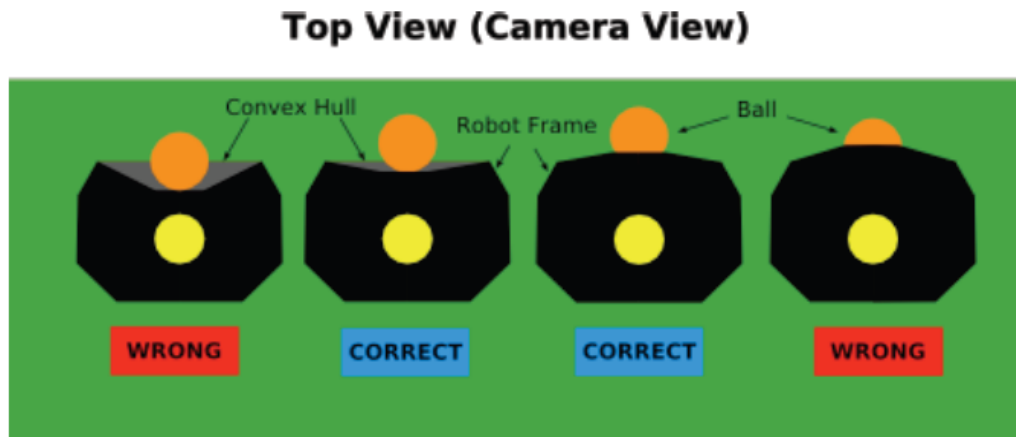


Figura 1.5 Como se debe coger la pelota

Decisión 5

Un robot comienza el regateo cuando tiene contacto con el balón y se detiene el regateo cuando hay una separación observable entre la pelota y el robot.

La restricción de la distancia en el regateo se añadió para evitar que un robot con una mecánica superior pudiera tener un indiscutible control de la pelota en el ataque. La restricción de la distancia, no obstante, permite a los atacantes dar y recibir pases, girar con el balón, y detenerse con la pelota. Los sistemas de regateo se pueden utilizar para regatear a grandes distancias con el balón, siempre y cuando el robot pierda periódicamente la posesión, tales pérdidas pueden ser patear la pelota delante de él como hacen a menudo los jugadores de fútbol humano. El comité técnico espera que la regla de distancia sea auto-forzada, es decir, que los equipos dispongan de un software que la cumpla con antelación, y se les pueda pedir una demostración previa a una competición.

Los árbitros, sin embargo, podrán seguir señalando faltas y pueden señalar amonestaciones (tarjeta amarilla) por situaciones de violación sistemática de dicha regla.

Decisión 6

La limitación de velocidad de disparo de la pelota ha sido añadida para prevenir que un robot con un disparo mecánicamente superior tenga demasiada ventaja sobre sus oponentes, o patear la pelota a una velocidad no apta para los espectadores. También se cree que esto ayudará a fomentar el juego en equipo sobre la capacidad de un solo robot.

Decisión 7

La norma sobre la subida al marcador cuando el lanzamiento ha sido producido mediante un tiro parabólico o “picado de la pelota”. Esta norma se redacta debido a que en las competiciones anteriores hubo algunas confusiones que se produjeron después de que los robots picaran la pelota y se produjeran goles en propia puerta.

Por esta razón, una interpretación estricta de esta regla, es dada aquí:



- Si un robot laza la pelota picada (no importa a qué altura se desplaza) a un compañero de equipo y la bola posteriormente, entra en propia meta, el tanto se dará como válido para el equipo oponente.
- Si un robot pica pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en la propia meta, después de permanecer por debajo de 150 mm de altura todo el tiempo después haber tocado al robot oponente, el equipo oponente también obtiene un tanto.
- Si un robot pica la pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en propia meta después de haber estado por encima de 150 mm durante algún tiempo (y no habiendo estado en contacto permanente con el suelo después), después de tocar al robot oponente, el equipo oponente no puntúa.

Decisión 8

La infracción cometida al entrar deliberadamente en la zona de tránsito del árbitro fue añadido para desalentar a los equipos de la conducción de vehículos por esta zona para obtener ventajas tácticas. En particular, debe prevenir que los equipos exploten el hecho de que otros equipos no podrían tener cobertura de visión del árbitro caminando por dicha área. Se entiende que en ocasiones un robot puede entrar en la zona si está fuera de control, o si ha sido empujado a esta área. Estos casos no deben ser considerados infracciones. Sin embargo, la decisión final en cuanto a lo que constituye una violación deliberada del reglamento se deja al árbitro.

1.13 LEY 13 - Tiros Libres

Tipos de Tiros Libres

Los tiros libres serán directos o indirectos.

Tanto en los directos como en los indirectos, la bola debe ser parada cuando se comete la falta y el lanzador no puede tocar el balón por segunda vez hasta que lo haya tocado otro robot.

El tiro libre directo

- Si un tiro libre entra directamente en la meta del oponente, se concede un gol.
- Si un tiro libre entra directamente a gol en propia meta, se concede un gol al equipo oponente.

El tiro libre indirecto

Balón entra en la meta

Se concede un gol solamente si el balón toca posteriormente a otro robot antes de que entre el balón entre en la portería.

- Si un tiro libre indirecto entra directamente en la meta del oponente, se concede un saque de puerta.
- Si un tiro libre indirecto entra directamente en la propia meta del equipo, se concede un saque de esquina al equipo contrario.



Procedimiento para los tiros libres

Si el tiro libre se concede dentro del área de defensa, el tiro libre se lanza desde un punto a 600 mm de la línea de gol y a 100 mm desde la línea de contacto más cercana a donde se produjo la infracción.

Si el tiro libre es concedido al equipo atacante a 700 mm de la zona de defensa, la pelota está se traslada al punto más cercano a 700 mm desde el área de defensa.

En el caso contrario, el tiro libre se lanza desde el lugar donde se produjo la infracción.

Todos los robots oponentes se colocarán a una distancia mínima de 500 mm de la pelota.

La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Si, cuando se lanza un tiro libre, el oponente más cercano a la bola no se encuentra a la distancia requerida:

- El tiro se repetirá.

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de la presente Ley:

- El tiro se repetirá.

1.14 LEY 14 - El tiro de penalti

Un tiro de penalti se otorga contra un equipo que cometa una de las cinco infracciones por las que se concede un tiro libre directo, dentro de su área de defensa y mientras la bola está en juego.

Un gol puede ser anotado directamente de un tiro de penalti.

El tiempo adicional permitido para un tiro de penalti se añadirá al final de cada mitad o al final de los períodos de tiempo extra.

Posición de la bola y los Robots

El balón:

- Se coloca en el punto de penalti.

El robot de lanza el penalti:

- Está debidamente identificado.

El guardameta defensor:

- Se mantiene entre los postes de la portería, toca la línea de meta, y la cara externa de la meta, hasta que el balón ha sido pateado. Se le permite el movimiento antes de que el balón haya sido golpeado, siempre y cuando no se infrinja alguna de estas restricciones.

Los robots que no sean los lanzadores se encuentran:

- Dentro del campo de juego.
- Detrás de una línea paralela a la línea de gol y a 400 mm detrás del punto penalti.



El árbitro

- No da la señal de lanzamiento de penalti hasta que los robots han tomado posición de conformidad con la Ley.
- Decide cuando un tiro penal se ha completado.

Procedimiento

- El robot que lanza el penalti, golpea la pelota hacia delante.
- No toca el balón por segunda vez hasta que haya sido tocado por otro robot.
- La pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve hacia delante.

Cuando un tiro de penalti se lanza durante el curso normal del juego, o el tiempo se ha ampliado en la primera mitad o al final del partido para permitir que un lanzamiento de penalti sea lanzado. Se concede un gol si entra directamente o si antes de que el balón pase entre los postes y por debajo del travesaño:

- La pelota toca uno o ambos postes de la portería y/o el travesaño, y/o el portero.

Infracciones / Sanciones

Si el árbitro da la señal de un tiro de penalti y, antes de que el balón esté en juego, se produce una de las siguientes situaciones:

El robot que lanza el penalti infringe las Reglas del Juego:

- El árbitro permitirá que continúe la jugada.
- Si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- Si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.

El guardameta infringe las Reglas de Juego:

- El árbitro permitirá que continúe la jugada.
- Si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- Si el balón no entra en la meta, se repetirá el tiro.

Un compañero del robot que lanza, penetra en el área de los 400 mm detrás del punto de penalti:

- El árbitro permitirá que continúe la jugada.
- Si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- Si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.
- Si el balón rebota en el guardameta, el travesaño o el poste de la meta y es tocado por el presente robot, el árbitro interrumpirá el juego y reanudará el partido con un tiro libre indirecto a favor del equipo que defiende.

Un compañero del guardameta penetra en la zona de los 400 mm detrás del punto de penalti:

- El árbitro permitirá que continúe la jugada.
- Si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- Si el balón no entra en la meta, se repetirá el lanzamiento.

Un robot de ambos equipos, de la defensa y el equipo atacante, infringen las Reglas de Juego:

- El tiro se repetirá.

Si, tras el cumplimiento de la pena:

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

El balón es tocado por un agente externo, y se mueve hacia delante:

- El tiro se repetirá.



El balón rebota en el terreno de juego tras tocar al guardameta, el travesaño o los postes, y es entonces tocado por un agente externo:

- El árbitro detiene el juego.
- El juego se reanuda con un toque neutral en el lugar donde la pelota tocó al agente externo (véase la Ley 13).

1.15 LEY 15 - El saque de banda

Un saque de banda, es un método de reinicio el juego.

Un gol no puede ser marcado directamente desde un saque de banda.

Un saque de banda se concede:

- Cuando la totalidad de la pelota pasa por encima del límite de contacto (línea de banda), ya sea por tierra o por aire.
- Desde el punto, a 100 mm, perpendicular a la línea de banda donde la pelota cruzó el límite.
- A los opositores del último robot que toca el balón.

Procedimiento

- El árbitro pone el balón en la posición designada.
- Todos los robots oponentes se distancian por lo menos 500 mm de la pelota.
- La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Si, cuando un saque de banda se realiza, un oponente está más cercano a la bola de la distancia requerida:

- El saque de banda se repetirá.

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción:

- El tiro se repetirá.

1.16 LEY 16 - El saque de puerta

Un saque de puerta es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente por un saque de puerta, pero sólo si entra en la portería contraria.

Un saque de puerta es otorgado cuando:

- La totalidad de la pelota, después de haber sido tocada por un robot del equipo atacante, pasa por encima de la línea de límite de gol, ya sea por tierra o aire, y no se concede un tanto de conformidad con la Ley 10.

Procedimiento

- La pelota es pateada desde el punto a 500 mm de la línea de gol y 100 mm de la línea de banda más cercano a donde la pelota pasó por la línea de gol.
- Los opositores siguen estando a 500 mm de la bola hasta que el balón está en juego.



- El lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- La pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.
Para cualquier otra infracción de la presente Ley:

- El tiro se repetirá

1.17 LEY 17 - El saque de esquina

Un saque de esquina es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente de un saque de esquina, pero solamente contra el equipo contrario.

Un saque de esquina se concede cuando:

- La totalidad de la pelota, después de haber tocado un robot del equipo defensor, pasa por encima de la línea de gol, ya sea por tierra o aire, y no se concede un gol de conformidad con la Ley 10.

Procedimiento

- La pelota es golpeada desde la esquina más cercana, a 100 mm en la línea de gol y de la línea de banda.
- Los contrarios siguen estando a 500 mm de la bola hasta que el balón está en juego.
- El lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- La pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.
Para cualquier otra infracción:

- El tiro se repetirá

1.18 Apéndice A - Reglas de Competencia

Este apéndice describe los procedimientos adicionales para la Small Size League.

Tiempo Extra

Si el resultado del partido es de empate después del final del segundo período y el partido necesita terminar con un claro ganador, se jugará un tiempo extra (como se indica en las leyes 7 y 10). Antes de la primera mitad del tiempo extra, habrá un intervalo que no deberá exceder de 5 minutos.



Períodos de juego durante el tiempo extra

El tiempo extra dura dos períodos iguales de 5 minutos, salvo mutuo acuerdo entre el árbitro y los dos equipos participantes. Cualquier acuerdo para alterar los períodos de tiempo extra (por ejemplo, para reducir cada mitad a 3 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes del inicio del juego y deben cumplir con las normas de la competición.

Descanso en el tiempo extra

Los equipos tienen derecho a un descanso en el intervalo entre las dos mitades del tiempo extra. El plazo de tiempo no debe exceder de 2 minutos.

La duración del descanso en dicho intervalo de tiempo puede ser modificado únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

Tiempos de espera

Cada equipo tiene asignado dos tiempos de espera en el comienzo del tiempo extra. Se permite un total de 5 minutos para todos los tiempos de espera. El número de tiempos de espera y el tiempo, no utilizados en el juego regular, no se agregan. Los tiempos de espera en el tiempo extra siguen las mismas reglas que en el juego regular (indicado en la ley 7).

Tanda de penaltis

Si el partido termina en empate después del final de la segunda parte de la prórroga, el resultado final se decidirá en los penaltis.

Preparación

Antes del inicio de los penaltis, habrá un intervalo que no deberá exceder de 2 minutos. Este tiempo, se designa para ser utilizado por los equipos en el diálogo con el árbitro y sus asistentes para comprobar que la posición del portero es correcta (en la línea) y que todas las demás normas se cumplen como se indica en la ley 14. El árbitro determina (por ejemplo, lanzando una moneda), qué equipo defiende la portería, así como qué equipo tiene que lanzar el primer penalti.

Procedimiento

Durante los tiros desde el punto de penalti, un máximo de 2 robots por equipo estarán en el campo con el fin de evitar interferencias. Los tiros desde el punto penalti se harán alternativamente por parte de ambos equipos hasta que cada equipo haya lanzado 5 sanciones. Para todos los lanzamientos, se aplican las normas de la ley 14. Un segundo tiro (por ejemplo, si la pelota rebota en la portería o un poste de la portería) o el robot que lanza recuperarse la pelota, no puntuará. Durante los lanzamientos desde el punto penalti no habrá tiempos muertos. Los robots pueden ser intercambiados entre los lanzamientos siguiendo las reglas de intercambio de la ley 3. Como el intercambio de los papeles entre ambos equipos costaría demasiado tiempo y se forzaría a los equipos a variar sus sistemas, ambas porterías son usadas.



Si después de 10 tiros no hay un vencedor, cada equipo tiene un lanzamiento de penalti en el mismo orden en que lo hicieran anteriormente. Este procedimiento (un penalti por equipo) se continúa hasta que haya un vencedor.



CAPÍTULO 2

2. COMPOSICIÓN DEL MICROROBOT F180

Este capítulo trata de dar una breve descripción de cada una de las partes del sistema para que el lector del presente documento pueda entender la funcionalidad de sus partes y por tanto los posteriores capítulos del proyecto.

Como se ha visto anteriormente en la reglamentación un equipo de fútbol consta como mucho de 5 robots y cada uno debe caber en cilindros de 180 mm.de diámetro y 150 mm.de altura en caso de la implementación de visión global y 225 mm en caso de visión local. Para el caso de visión global se colocan una o varias cámaras sobre la barra situada sobre el campo a 4 m. de altura. En el transcurso del encuentro los robots utilizan comunicación inalámbrica mediante la cual el PC central que está fuera del campo, les envía información sobre su posición, la estrategia del juego, etc.

En general la arquitectura del sistema puede ser dividido en cuatro partes bien diferenciadas:

1. Sistema de visión (SV).
2. Sistema de inteligencia artificial (IA).
3. Sistema de control del árbitro o asistente (CA).
4. Los propios robots.

A continuación se muestra el esquema de los subsistemas enumerados anteriormente.

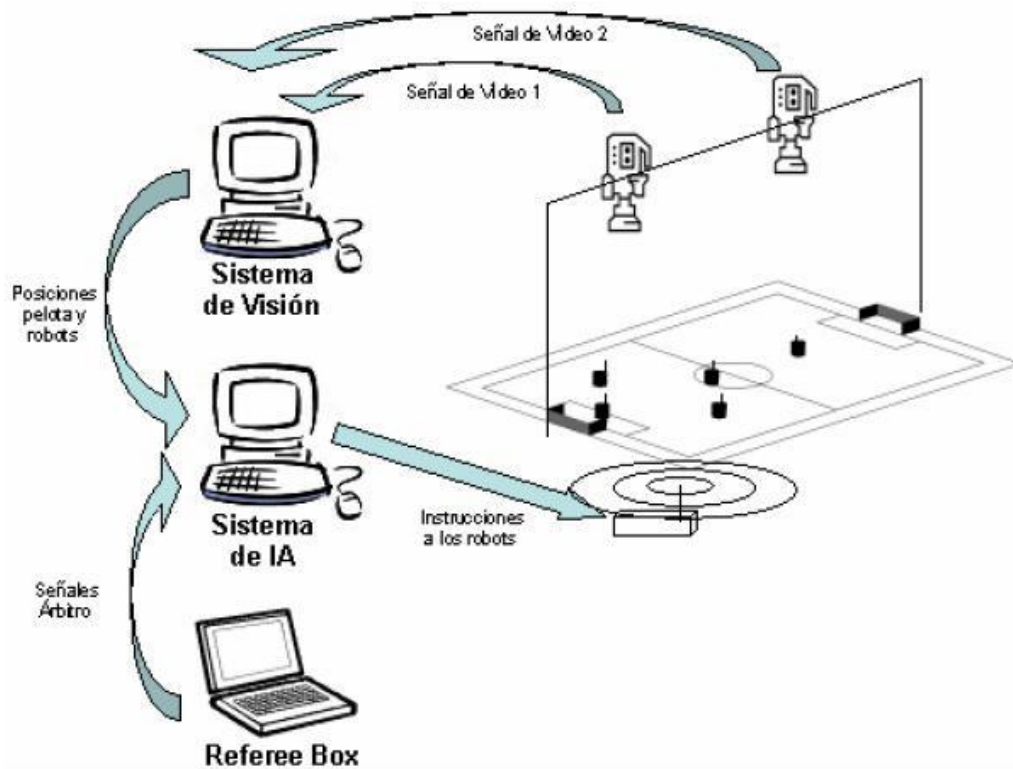


Figura 2.1 Arquitectura del sistema.

Generalmente el sistema de visión (SV) y el sistema de inteligencia artificial (IA) están dentro de un mismo ordenador.

2.1 Sistema de visión

Se encarga de calcular la posición y orientación de los robots tanto del propio equipo como del equipo contrario y de la pelota. Para hacer esto se ayuda de una o varias cámaras colocadas a 4 m. de altura, procesa las imágenes y se las envía al sistema de inteligencia artificial.

2.2. Sistema de inteligencia artificial

Recibe los datos del sistema de visión, posición y orientación de los robots y de la pelota. El árbitro a través del CA envía señales a la IA para informarle sobre el estado del partido y enviarle eventos sobre el desarrollo del mismo. La IA toma decisiones sobre la estrategia a desarrollar en función de la posición de los robots, de la pelota y de la señales del CA para enviar las instrucciones a los robots por medio del módulo de comunicación inalámbrica.

2.3. Sistema de control del árbitro

La persona del árbitro se encarga de vigilar que el partido transcurra según la reglamentación establecida usando un silbato y su voz. El asistente, según esas

indicaciones opera sobre un sistema para controlar el estado del juego enviando las correspondientes señales a los IAs de los equipos.

2.4. Robots

Son los que realmente juegan el partido de fútbol por lo que deben poder:

Desplazarse sobre el campo.

Golpear la pelota para poder dar pases y disparar a portería.

Controlar la pelota para desplazarse sin perderla.

Recibir la información que les envía la IA y ejecutarla.

Bloquear disparos del contrario.

Para realizar todo esto disponen de las siguientes partes fundamentales:

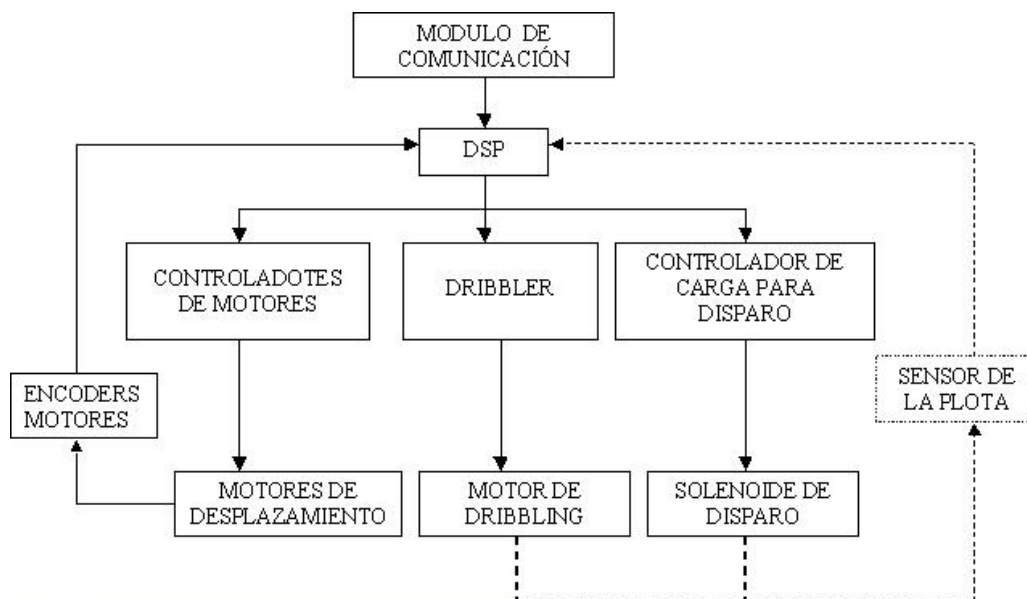


Figura 2.2 Partes funcionales de un robot F180.

2.5 Los partidos F180

Los partidos de la liga F180 tienen una duración de 20 minutos, dividido en dos tiempos de 10 minutos cada uno.

La liga F180 es posiblemente la liga en la cual los partidos tienen gran intensidad por la velocidad de juego, la pelota llega a alcanzar una velocidad de hasta 3m/s y los robots se mueven a más de 2,3 m/s [3].

La velocidad de juego y el control de los robots han dado a la liga la calificación de una “liga de ingeniería”. En ella se aplican disciplinas de la ingeniería como el diseño electro-mecánico, teoría de control, electrónica de potencia, electrónica digital y comunicación inalámbrica.

2.6 ARQUITECTURA DE UN MICROROBOT F180

En esta sección se elabora un análisis de los sistemas que componen a un robot F180. El análisis parte de la funcionalidad básica requerida y sirve como punto de partida para el diseño y la implementación de un equipo de robots F180.

2.6.1 Locomoción

Un robot móvil requiere mecanismos de locomoción que le permitan desplazarse en su ambiente. Existe una gran variedad de soluciones para lograr que un robot tenga movimiento y muchos de estos mecanismos de locomoción están inspirados en sus contrapartes biológicas.

Una gran excepción la constituye la rueda, una invención de la humanidad que brinda una excelente movilidad en ambientes planos. La rueda ha sido el mecanismo de locomoción más usado en los robots móviles, su uso ofrece una buena estabilidad y balance pero requiere que se tome en cuenta la tracción, la maniobrabilidad y el control del movimiento.

El tipo de desplazamiento que se debe considerar para un robot móvil está sumamente relacionado con el tipo y la geometría de las ruedas. Existen muchos tipos de desplazamiento pero debido a sus características muy similares pueden ser clasificados en dos grandes clases: diferencial, y omnidireccional [2].

2.6.2 El desplazamiento diferencial.

Un desplazamiento diferencial considera un par de ruedas. El principio de funcionamiento es simple: Para que el robot se desplace hacia delante conservando su orientación las ruedas deben girar a la misma velocidad y en la misma dirección. Para que el robot cambie su orientación debe existir una diferencia de velocidades en las ruedas, cuanto más grande sea la diferencia de velocidades en las ruedas más grande será el cambio en la orientación del robot. En la Figura 2.3 se pretende mostrar que el robot cambiará de orientación como consecuencia de que las ruedas están girando a la misma velocidad pero en sentido contrario, en este caso el robot únicamente rota y no se traslada.

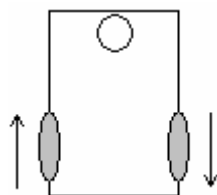


Figura 2.3a – Orientación inicial.

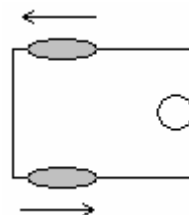


Figura 2.3b – El robot ha rotado.

2.6.3 El desplazamiento omnidireccional.

El desplazamiento omnidireccional es de gran interés porque brinda una completa maniobrabilidad. Los robots omnidireccionales pueden moverse en cualquier dirección y en cualquier momento sin requerir una orientación específica para el desplazamiento del robot. Este tipo de desplazamiento requiere de ruedas que se puedan mover en más de una dirección, la figura 2.4 muestra el diseño de una rueda omnidireccional [9].

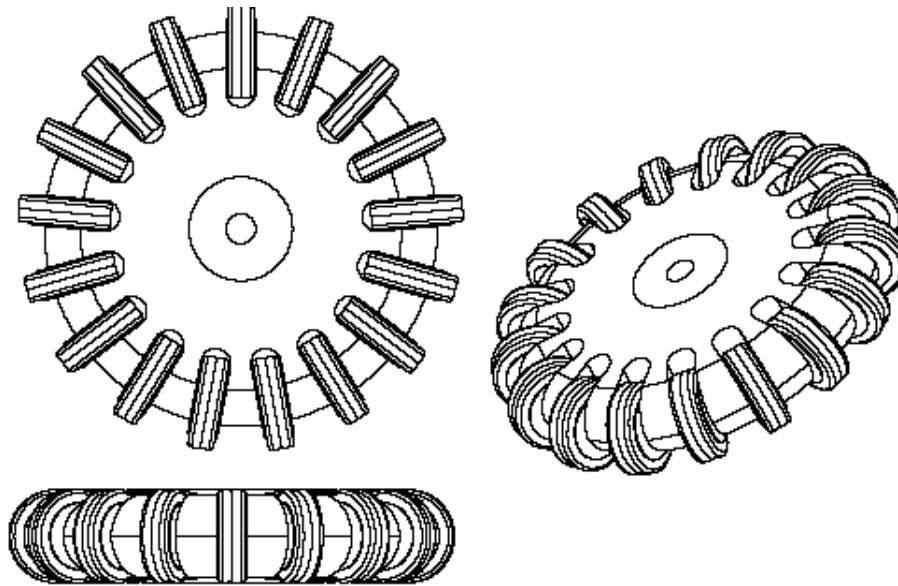


Figura 2.4 Diseño de una rueda omnidireccional

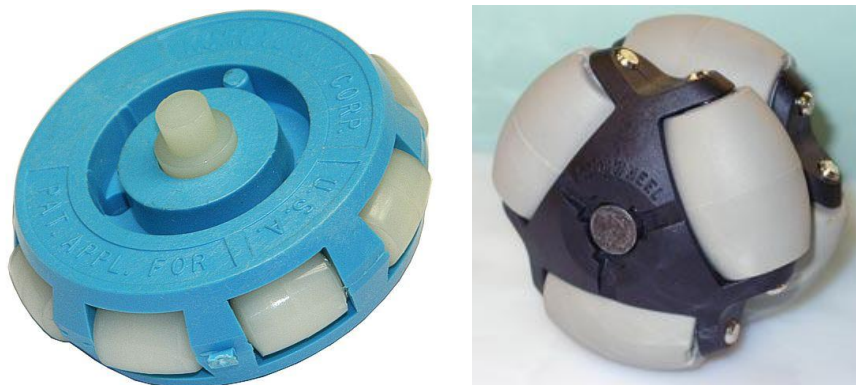


Figura 2.5 – Ejemplos de ruedas omnidireccionales comerciales



Figura 2.6 rueda omnidireccional acoplada a un motor

El movimiento omnidireccional ha adquirido popularidad en los robots móviles porque permite que el robot se desplace en línea recta desde un punto origen hacia cualquier otro punto, sin tener que rotar antes de desplazarse. Adicionalmente, la traslación sobre la ruta deseada se puede combinar con una rotación, de modo que el robot llega a su destino en el ángulo correcto.

Se requieren más de dos ruedas omnidireccionales para mover a un robot. Cada rueda proporciona una fuerza en una dirección normal al eje del motor y paralela al piso. La suma de fuerzas provén la traslación y rotación del robot. La figura 2.7 muestra la base de los motores con sus ruedas del prototipo de un robot omnidireccional F180.

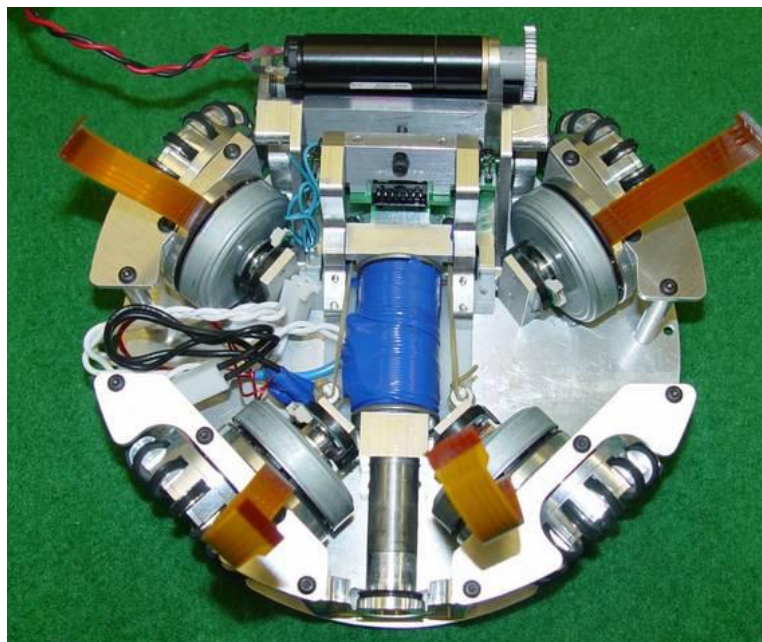


Figura 2.7 – Base de motores con ruedas para un robot omnidireccional.

2.6.4 Control omnidireccional.

Existe una relación inversa entre la maniobrabilidad y el control. Por ejemplo, los diseños omnidireccionales requieren un procesamiento adicional para convertir las velocidades de rotación y traslación del robot en velocidades individuales para cada rueda. Controlar un robot omnidireccional para que se mueva en una dirección deseada es más complicado que los métodos diferenciales. Para ello es necesario establecer un modelo cinemático omnidireccional.

2.6.5 Modelo cinemático omnidireccional.

Consideraciones iniciales

Reglas que deben ser tomadas en cuenta para el diseño de los robots y evitar que haya controversias entre los sistemas que forman parte del equipo en su conjunto.

1- El marco de referencia

Se considera al robot como un cilindro de radio R y para ubicarlo en el plano se utilizan coordenadas cartesianas. El eje Y apunta al frente del robot

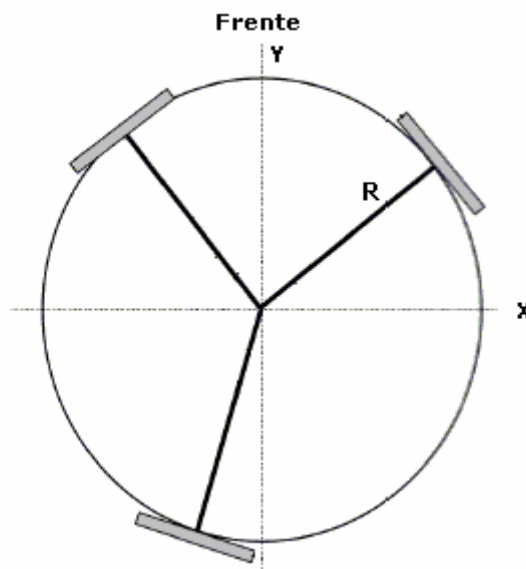


Figura 2.8 El robot en el plano cartesiano

2- Numeración de los motores

La numeración de los motores se realiza en sentido antihorario, comenzando desde el frente del robot.

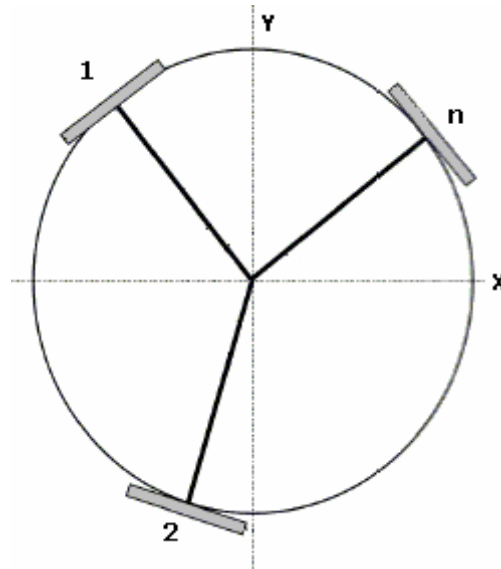


Figura 2.9 Numeración de motores

3- Medición de los ángulos de los motores

El ángulo que indica la ubicación de cada motor se mide en sentido antihorario con respecto al eje Y. La nomenclatura para estos ángulos será θ_i , donde i indica el número de motor.

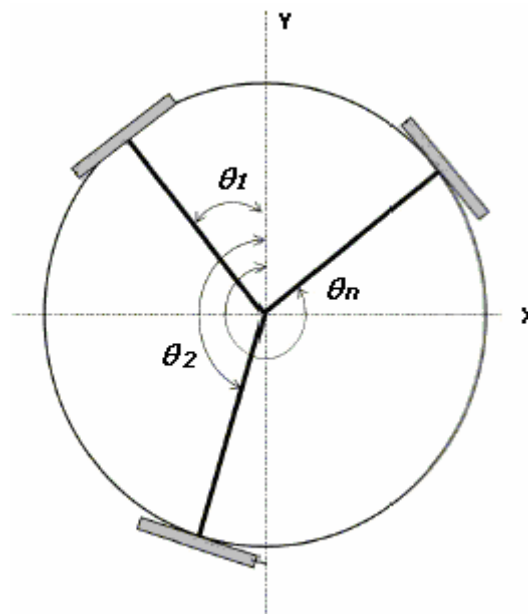


Figura 2.10 Medición de los ángulos de los motores

4- Dirección de rotación de los motores

La dirección positiva de rotación de los motores se establece en sentido horario con respecto al frente del motor. La figura 2.11 muestra el frente de un motor y la dirección positiva de rotación.

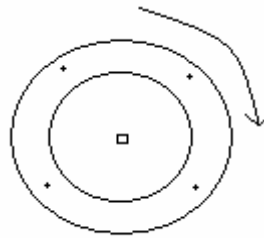


Figura 2.11 Rotación positiva de los motores

Con esa dirección positiva de rotación, la dirección positiva de la fuerza que los motores ejercen es tangente al marco circular del robot y, como lo muestra la figura 2.12, apunta en sentido antihorario.

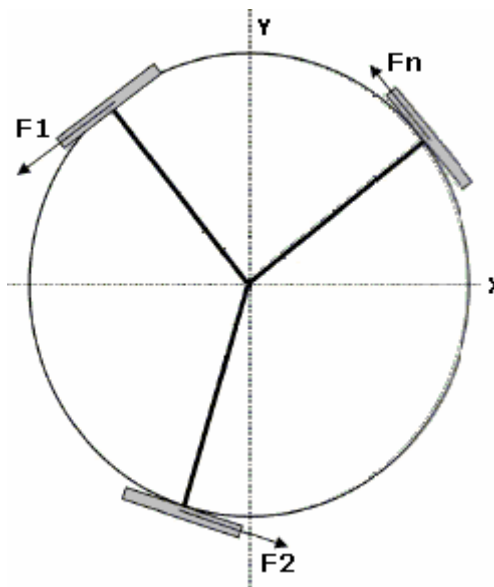


Figura 2.12 Dirección positiva de la fuerza de los motores.

5- Ángulo de fuerza de los motores

Para medir el ángulo que tiene la dirección de la fuerza del motor i se debe considerar que la dirección de la fuerza del motor i es tangencial al marco circular del robot y, por lo tanto, tiene un ángulo de:

$$\theta_i + \frac{\pi}{2}$$

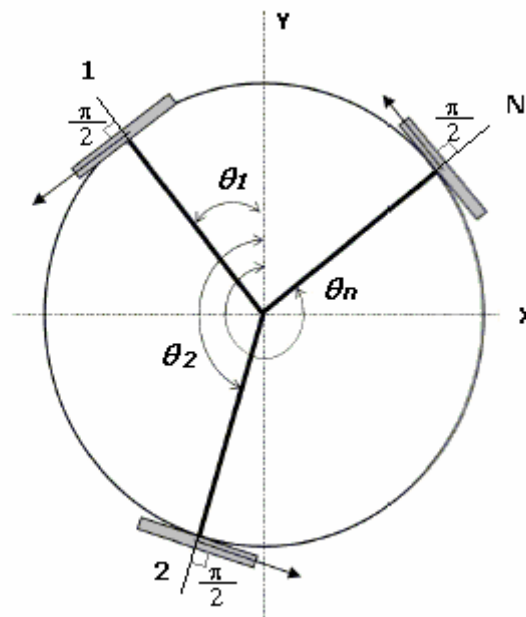


Figura 2.13 Ángulo de la fuerza de los motores.

6- Desplazamiento del robot

Cuando el robot se mueve de una posición inicial a una posición final, éste realiza un desplazamiento descrito por un vector, φ es el ángulo que indica la dirección y se mide con respecto al frente del robot.

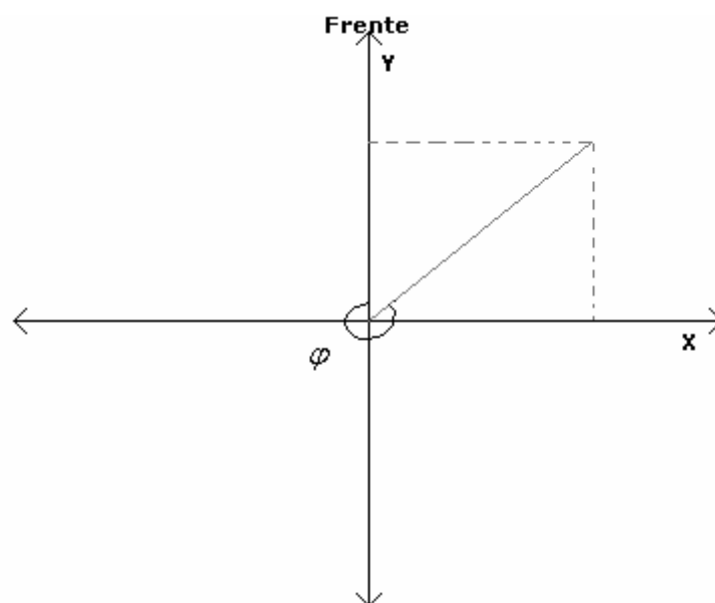


Figura 2.14 Ángulo de desplazamiento del robot.

El proceso para entender el movimiento de un robot comienza con el proceso de describir la contribución de cada rueda y para ello es necesario establecer un marco de referencia y tomar en cuenta algunas importantes consideraciones. En este caso, el marco de referencia es el plano cartesiano. La figura 2.15 es una representación de un robot omnidireccional en el plano cartesiano [11].

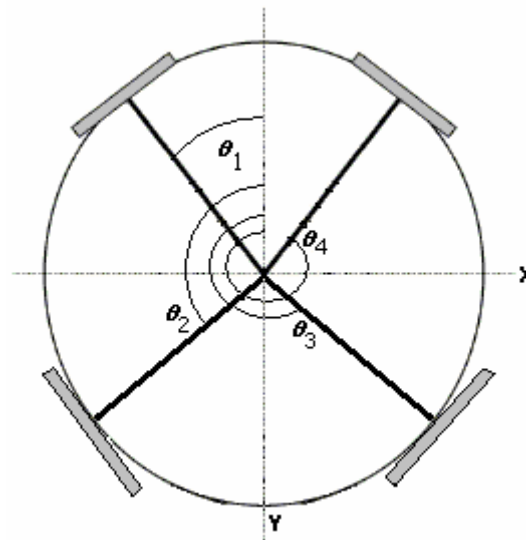


Figura 2.15 Robot omnidireccional en el plano cartesiano

Con este marco de referencia se puede determinar la posición del robot si se conocen las coordenadas (x, y) del centro del robot. El robot de la figura 2.15 es omnidireccional, tiene cuatro ruedas y su centro se localiza en el origen.

Para poder descomponer la contribución de cada motor en términos de X e Y es necesario utilizar la segunda Ley de Newton:

$$F = m \cdot a ; \quad m \cdot \vec{a} = \sum_i^N f_i \quad (2.1)$$

Por medio de la ecuación 2.1 se puede determinar la relación directa que existe entre la aceleración de un cuerpo, su masa y la suma de fuerzas que interactúan sobre él.

Para el caso general de un robot omnidireccional de masa m y con N motores ($N \geq 3$), despejando la aceleración de 2.1:

$$a = \frac{1}{m} \sum_1^N f_i \quad (2.2)$$



Para calcular las componentes de aceleración en los ejes X e Y se debe tomar en cuenta el ángulo θ_i sobre el que se coloca el motor con respecto a los ejes y que la dirección positiva de la fuerza del motor (de acuerdo con la convención de Osaka) apunta a $\theta_i + \frac{\pi}{2}$.

Entonces, la proyección de los componentes de aceleración en los ejes X e Y se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$a_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i \sin\left(\theta_i + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.3)$$

$$a_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N f_i \cos\left(\theta_i + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.4)$$

Y considerando que:

$$\sin(x + t) = \sin x \cos t + \cos x \sin t$$

$$\cos(x + t) = \cos x \cos t - \sin x \sin t$$

Las ecuaciones 2.3 y 2.4 se pueden expresar de la siguiente forma:

$$a_x = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i \cos \theta_i \quad (2.5)$$

$$a_y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N -f_i \sin \theta_i \quad (2.6)$$

Por otra parte, para obtener la aceleración rotacional se debe considerar que las fuerzas que ejercen los motores son tangentes al marco circular del robot y apuntan hacia la misma dirección rotacional. Entonces, la aceleración rotacional está dada por la siguiente ecuación:

$$a_w = \frac{R}{I} \sum_{i=1}^N f_i \quad (2.7)$$

Donde R es el radio del robot, f_i es la magnitud de la fuerza del i -ésimo motor, e I es el momento de inercia.

El momento de inercia de un cilindro sólido es $I = \frac{1}{2}mR^2$ mientras que para un aro delgado es $I = mR^2$. Para cualquier distribución de masa estrictamente entre una concentración de masa en el centro y en la periferia (que sería el caso del robot), $I = \alpha mR^2$ con $0 < \alpha < 1$. Entonces la ecuación 2.7 queda expresada como:

$$a_w = \frac{1}{m} \frac{\sum_1^N f_i}{\alpha R} \quad (2.8)$$

Esas ecuaciones de aceleración (2.3, 2.4 y 2.7) pueden ser expresadas como el vector de aceleraciones $(a_x, a_y, a_w)^T$ que se obtiene como el producto de una matriz por un vector de fuerzas.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_w \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{pmatrix} -\cos \theta_1 & -\cos \theta_2 & \dots & -\cos \theta_n \\ -\sin \theta_1 & -\sin \theta_2 & \dots & -\sin \theta_n \\ \frac{1}{\alpha R} & \frac{1}{\alpha R} & \dots & \frac{1}{\alpha R} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_n \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Para trabajar con las mismas unidades (metro por segundo al cuadrado) para la aceleración lineal y la aceleración angular, en vez de utilizar a_w se puede utilizar Ra_w y la ecuación queda:

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ Ra_w \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{pmatrix} -\cos \theta_1 & -\cos \theta_2 & \dots & -\cos \theta_n \\ -\sin \theta_1 & -\sin \theta_2 & \dots & -\sin \theta_n \\ \frac{1}{\alpha} & \frac{1}{\alpha} & \dots & \frac{1}{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_n \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Simplificando la escritura de la ecuación 2.9 se tiene:

$$a = \frac{1}{m} M_A f \quad (2.11)$$

Donde:

a : Vector de aceleraciones del robot.

M_A : Matriz de acoplamiento de aceleración.

f : Vector de fuerzas de los motores.

La ecuación 2.9 permite encontrar las componentes de aceleración de los ejes del marco de referencia (aceleraciones del robot) y la aceleración rotacional dada una configuración de motores y la fuerza que cada motor ejerza.

Por otra parte, para las rutinas de control de IA es útil encontrar una expresión que relacione la velocidad del robot con el vector de velocidades de los motores. Esto sucede porque un robot que se encuentra en una posición inicial debe realizar un movimiento, que en el mejor de los casos es, sobre una línea recta para que llegue a una posición deseada. Este movimiento, como muestra la figura 2.16, se representa como un vector de velocidad con una magnitud y una dirección.

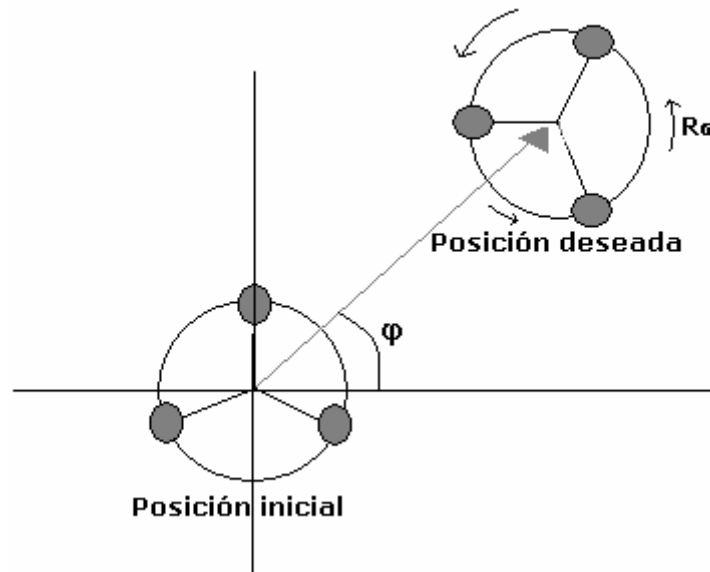


Figura 2.16 El robot debe ir a una posición futura

Ese vector es la resultante de las velocidades del robot (v_x, v_y, w) por lo que es necesario encontrar una expresión que relacione las velocidades del robot con las velocidades de cada motor para que las rutinas de IA envíen esa información al robot y éste se mueva hacia la posición deseada. Asumiendo que la relación que se pretende encontrar es análoga a la ecuación 2.9, se puede suponer que tiene la forma:

$$v_M = M_V v_R \quad (2.12)$$

Donde:

v_M es el vector de velocidades de los motores $(v_1, v_2, \dots, v_n)^T$.

M_V es la matriz de acoplamiento de velocidades, de dimensión $N \times 3$.

v_R es el vector de velocidades del robot $(v_x, v_y, w)^T$.

Suponiendo que el vector de velocidades del robot es $(1, 0, 0)^T$, esto quiere decir que el robot se desplaza en línea recta sobre el eje X a una velocidad de $1 \frac{m}{s}$ y las ruedas del robot estarán girando a una velocidad de $-\cos \theta$. Si el robot se desplazara en línea recta hacia el frente (sobre el eje Y) entonces el vector $v_m = (0, 1, 0)^T$ y las ruedas tendrían una velocidad de $-\sin \theta$. Si el robot únicamente rotara $v_m = (0, 0, 1)^T$ y cada motor tendría una velocidad de $\frac{1}{N}$.

Por lo anterior, la relación se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & \frac{1}{n} \\ -\cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & \frac{1}{n} \\ \dots & \dots & \dots \\ -\cos \theta_n & -\sin \theta_n & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Y simplificando la escritura:

$$v_M = M_V v_R \quad (2.12)$$

Hasta ahora se han obtenido dos expresiones de gran utilidad para el diseño de un robot F180 y gracias a ellas es posible:

1. Transformar las fuerzas de los motores en aceleraciones del robot:

$$a = \frac{1}{m} M_A f \quad (2.11)$$

2. Transformar velocidades del robot en velocidades de los motores:

$$v_M = M_V v_R \quad (2.12)$$

Considerando que las ecuaciones anteriores utilizan matrices, en las siguientes líneas se analizará si es factible obtener las relaciones inversas.



La forma simplificada de la ecuación 2.9 sugiere que la relación inversa se podría encontrar fácilmente al considerar que el concepto de inversa de una matriz es análogo al del recíproco de un número real. En el sentido de que el producto de un número real con su recíproco es la unidad, así como el producto de una matriz con su inversa es la matriz identidad. Recordando la definición de una matriz inversa:

Sea I_n la matriz identidad de $n \times n$ y A una matriz cuadrada de $n \times n$, si existe una matriz A^{-1} de $n \times n$ que tenga la propiedad de que:

$$A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = I_n \quad (2.14)$$

Se dice que A^{-1} es la inversa de A .

El problema radica en que la matriz M_A no sea cuadrada y por lo tanto no sea invertible. Para resolver problemas de este tipo se recurre al uso de la matriz pseudoinversa, cuya definición es la siguiente:

Si A es una matriz de $m \times n$, se llama pseudoinversa de A , a la matriz:

$$A^+ = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \text{ si el rango de } A = n \quad (2.15)$$

Ó

$$A^+ = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \text{ si el rango } A = m \quad (2.16)$$

De esta manera se obtienen las matrices pseudoinversas M_A^+ , M_v^+ , y las expresiones que permiten:

1. Transformar aceleraciones del robot en fuerzas de motores:

$$f = m \cdot M_A^+ \cdot a \quad (2.17)$$

2. Transformar velocidades de los motores en velocidades del robot:

$$v_R = M_v^+ \cdot v_M \quad (2.18)$$

3. Transformar velocidades del robot en velocidades de los motores:

$$v_M = M_v v_R \quad (2.12)$$

Hasta este punto se han encontrado cuatro ecuaciones muy útiles para el diseño de un robot F180.

Otro análisis que es de gran utilidad para el diseño de los robots surge al observar que la contribución total de los motores varía con respecto al ángulo de desplazamiento del robot. La contribución de los motores depende totalmente de la configuración de los ángulos θ_i y en capítulos posteriores se examinará detalladamente.

2.6.6 Técnicas para patear la pelota

Para que un equipo gane un partido de fútbol es necesario que haya goles, incluso en un partido de RoboCup. Los robots F180 necesitan de algún mecanismo que les permita impulsar la pelota lejos de sí mismos para poder mandar pases y tirar a gol.

El problema del pateo de la pelota tiene una solución general: se requiere de un dispositivo que se impulse para lanzar la pelota. En la Figura 2.17a el dispositivo está contraído y el robot tiene la pelota, en 2.17b el robot debe patear y el dispositivo se expande impulsando la pelota.

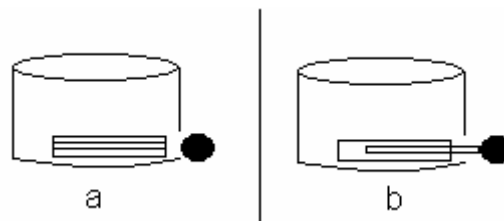


Figura 2.17 Pateando la pelota

La dificultad del problema del pateo de la pelota radica en encontrar un dispositivo lo suficientemente pequeño para que quepa en el robot F180 y lo suficientemente poderoso para que la pelota salga impulsada con fuerza. Múltiples propuestas surgieron para resolver el problema utilizando mecanismos con resortes, sistemas de aire comprimido, etc. A lo largo de la historia de las competencias del RoboCup se ha generalizado el uso de un solenoide con un núcleo metálico.

En un solenoide, cuando la corriente está fluyendo en la bobina, las líneas de fuerza salen del solenoide por uno de sus extremos, el polo norte, y entran por el extremo opuesto, el polo sur, esas líneas de fuerza se aprovechan para que el núcleo metálico sea impulsado con fuerza para que el robot pueda lanzar la pelota.

El uso de un solenoide requiere una gran cantidad de corriente eléctrica y la única fuente de corriente en el robot son sus baterías, para utilizar un solenoide se necesita de un circuito que almacene carga y se disponga de ella cuando sea necesario patear la pelota, para poder almacenar carga de manera temporal se puede hacer uso de un capacitor.

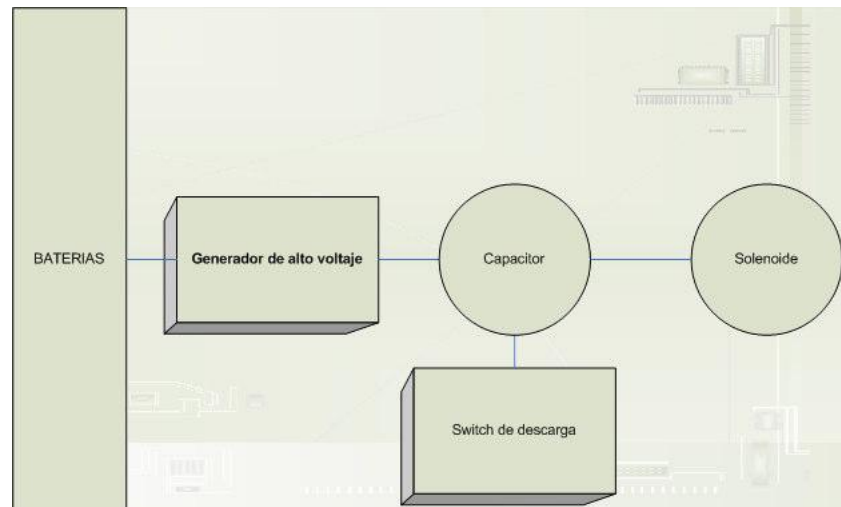


Figura 2.18 Diagrama de un sistema con un solenoide

2.6.7 Controlando la pelota

Como cualquier jugador de fútbol, el robot debe hacer desplazamientos manteniendo la pelota en su poder. Para que esto sea posible se utiliza un motor que hace girar un rodillo de algún material que brinde adherencia a la pelota.

Este tipo de solución es la más popular en la liga F180 y se conoce como “dribbler”. En la actualidad, la mayoría de los equipos utiliza un dispositivo de ese tipo en los robots para poder controlar la pelota. La figura 2.19 muestra el prototipo de un controlador de pelota.

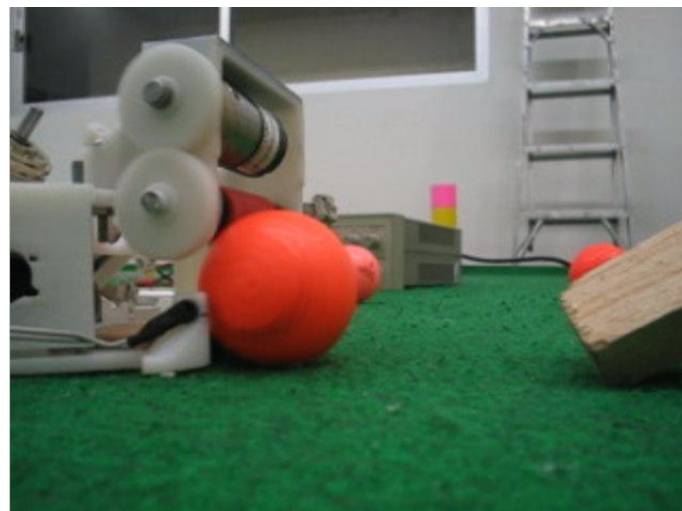


Figura 2.19 Controlador de la pelota “Dribbler”

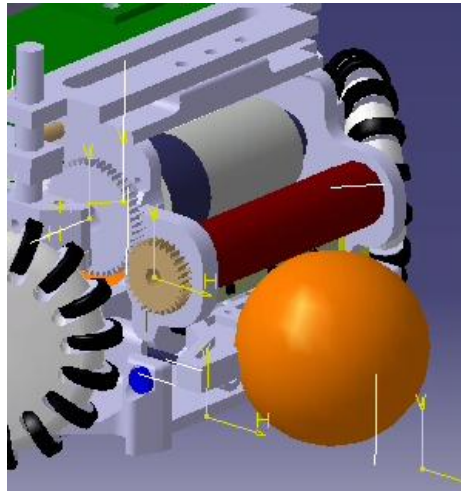


Figura 2.20 Controlador de la pelota “Dribbler”

2.6.8 Procesamiento en el robot

La unidad central de procesamiento del robot recibe el paquete del módulo de comunicación inalámbrica y se encarga de decodificar la información de acuerdo con un programa residente en la memoria, para finalmente enviar señales a los dispositivos encargados de mover al robot, control y pateo de la pelota. Posteriormente recibe información de retroalimentación de los sensores del robot y los ajusta [8].

El presente robot utiliza el módulo RCM5400W del fabricante Rabbit que incluye:

Feature	RCM5400W	RCM5450W
Microprocessor	Rabbit® 5000 at 73.73 MHz	
Flash Memory	512K	1MB
Data SRAM	512K	512K
Fast Program-Execution SRAM	512K	1MB
Serial Flash Memory (data)	1MB	2MB
Serial Ports	6 shared high-speed, CMOS-compatible ports: 6 are configurable as asynchronous serial ports; 4 are configurable as clocked serial ports (SPI); 2 are configurable as SDLC/HDLC serial ports; 1 asynchronous serial port is used during programming	
Wi-Fi	802.11b/g standard, ISM 2.4 GHz	

Tabla 2.1



Las señales que se envían a los controladores de motores para generar la velocidad requerida son señales PWM. Las señales que devuelven los encoders son pulsos y serán utilizados para corregir las velocidades de los motores del robot. Tanto para generar las señales PWM como para corregir la velocidad se utiliza la placa RCM5400W previamente programada en lenguaje C.

2.6.9 Módulo de comunicación inalámbrica

Para lograr una comunicación inalámbrica entre los robots y la IA se requiere de alguna tecnología que lo permita. Independientemente de la tecnología de comunicación, es importante señalar que se debe establecer un protocolo de comunicación para que la información fluya entre IA y los robots.

El presente robot aprovecha el hecho de que el módulo RCM5400W ya está dotado de un módulo Wi-Fi que proporciona la comunicación inalámbrica necesaria.

2.6.10 El protocolo de comunicación

En el ámbito de las telecomunicaciones, un protocolo es un conjunto de reglas que deben ser respetadas para que pueda ser realizado un proceso de comunicaciones y es necesario establecer estas reglas para que la comunicación entre la IA y los robots se lleve a cabo de forma confiable.

Se debe considerar que la inteligencia artificial (IA) decide la posición y orientación futura de cada uno de los robots, el movimiento que cada robot debe hacer es distinto y por lo tanto, el módulo de comunicación debe encargarse de que cada robot reciba sólo la información que le corresponde.

También es importante conocer la cantidad de información que cada robot recibe y para ello basta considerar que para que el robot llegue a su posición futura debe mover sus motores a una determinada velocidad, y si es necesario deberá activar los dispositivos de control y pateo de la pelota.

Entonces la cantidad de información que la IA debe enviar a cada robot se puede agrupar en dos bloques: control y velocidad.

Bloque de control: En esta sección se ubica la información relativa al estado de los dispositivos de control y pateo de la pelota, así como la dirección (el sentido) a la que los motores deben moverse. El estado de cada dispositivo puede ser encendido o apagado y la dirección de un motor puede ser hacia delante o hacia atrás y por lo tanto, el estado de cada dispositivo y la dirección de cada motor se pueden representar con un bit por dispositivo.

Bloque de velocidades: En este bloque se especifica la velocidad de cada uno de los motores. Si se asume que una resolución de 1024 velocidades diferentes (desde 0 a 1023) es suficiente, entonces se necesitan 10 bits para la velocidad de cada motor.

Por lo anterior, el paquete de información que cada robot recibe tiene la estructura que se muestra a continuación.



Bloque	Dispositivo	Cantidad de información
Control	Pateo de pelota (Ppel)	1 bit
	Dirección motor1 (DM1)	1 bit
	Dirección motor2 (DM2)	1 bit
	Dirección motor3 (DM3)	1 bit
	Dirección motor4 (DM4)	1 bit
velocidades	Velocidad motor1	10 bits
	Velocidad motor2	10 bits
	Velocidad motor3	10 bits
	Velocidad motor4	10 bits

Tabla 2.2 Estructura del paquete de información para un robot.

De la tabla anterior se puede asumir que si se reserva un byte para el bloque de control, y 2 bytes para cada motor, entonces el tamaño del paquete se puede calcular completamente en bytes utilizando la siguiente expresión:

$$P = 2N+1 \text{ [bytes]} \quad (2.19)$$

Donde N es el número de motores para desplazamiento que tiene el robot.

Cabe señalar que reservar 1 byte para la información de control es suficiente y además los bits restantes se pueden reservar para futuras aplicaciones.

Cada paquete debe ser enviado a cada uno de los robots con su información correspondiente, de esta manera se forma una trama. La trama debe contener un bloque de control para especificar el tamaño de la trama y otro bloque para la información de los robots. La tabla 2.3 muestra la estructura de la trama del módulo de comunicación.

Control	Robot1	Robot2	Robot3	Robot4	Robot5
1 byte	P bytes	P bytes	P bytes	P bytes	P bytes

Tabla 2.3 Estructura de la trama del módulo de comunicación

Siendo el tamaño de la trama de:

$$T = 5P+1 \text{ bytes.} \quad (2.20)$$



Utilizando la ecuación 2.19, podemos poner el número de bytes que componen la trama en función del número de motores (N).

$$T = 10N+6$$

(2.21)

Así podemos expresar el tamaño de la trama y del paquete en términos del número de motores que el robot tenga.

De esta manera la IA, una vez que toma la decisión de la posición y la orientación futura y calcula velocidades, construye la trama y la envía por medio del módulo de comunicación.

El dispositivo seleccionado para lograr la comunicación debe ser capaz de recibir la trama de la IA y enviarla a los robots. Posteriormente el módulo de comunicación de cada robot se encargará de recibir la trama y entregar al controlador del robot el paquete que le corresponde.



CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA BASE INFERIOR DEL ROBOT

El alcance de este proyecto se centra en el diseño y la construcción de la base inferior de los robots. El diseño de la solución abarca los módulos que forman parte del robot comenzando por la recepción de información, el procesamiento y su correcta ejecución en los dispositivos actuadores de los motores.

Por tanto el presente proyecto se centra en dotar al futuro robot de:

- Un sistema de procesamiento de datos y de comunicaciones, compuesto por una placa base que incorpora un microprocesador y un sistema WIFI.
- Un sistema de locomoción omnidireccional compuesto por ruedas omnidireccionales, motores, reductoras, encoders y drivers de potencia.
- Un sistema de alimentación compuesto por baterías que dota al robot de autonomía y le permite moverse libremente sin necesidad de estar conectado mediante cables a un sistema de alimentación externo.
- Una base sólida en la que poder fijar los componentes.
- La programación necesaria para el control de la velocidad y dirección de los motores.

3.1 Sistema de procesamiento de datos

3.1.1 Procesamiento en el robot



Figura 3.1 módulo RCM5400W

El presente robot utiliza el módulo RCM5400W del fabricante Rabbit que incluye:

Feature	RCM5400W	RCM5450W
Microprocessor	Rabbit® 5000 at 73.73 MHz	
Flash Memory	512K	1MB
Data SRAM	512K	512K
Fast Program-Execution SRAM	512K	1MB
Serial Flash Memory (data)	1MB	2MB
Serial Ports	6 shared high-speed, CMOS-compatible ports: 6 are configurable as asynchronous serial ports; 4 are configurable as clocked serial ports (SPI); 2 are configurable as SDLC/HDLC serial ports; 1 asynchronous serial port is used during programming	
Wi-Fi	802.11b/g standard, ISM 2.4 GHz	

Tabla 3.1



La unidad central de procesamiento del robot recibe el paquete del módulo de comunicación inalámbrica y se encarga de decodificar la información de acuerdo con el programa residente en la memoria, para finalmente enviar señales a los dispositivos encargados de mover al robot.

Las señales que se envían a los controladores de los motores para generar la velocidad requerida son señales PWM (1 para velocidad = 0%, 511 para velocidad = 50%, 1023 para velocidad = 100%), y para controlar el sentido de giro se utilizan señales de 1 bit (0 para el giro a la izquierda y 1 para el giro a la derecha) [10].

Las especificaciones de la RCM5400W serán las siguientes:

Parameter	RCM5400W	RCM5450W
Microprocessor	Rabbit® 5000 at 73.73 MHz	
Data SRAM	512K	512K
Program Execution Fast SRAM	512K	1MB
Flash Memory	512K	1MB
Serial Flash Memory	1MB	2MB
Backup Battery	Connection for user-supplied backup battery (to support RTC and data SRAM)	
General Purpose I/O	up to 39 parallel digital I/O lines configurable with four layers of alternate functions	
Additional Inputs	Startup mode (2), reset in	
Additional Outputs	Status, reset out	
External I/O Bus	Can be configured for 8 data lines and 6 address lines (shared with parallel I/O lines), plus I/O read/write	
Serial Ports	6 high-speed, CMOS-compatible ports: <ul style="list-style-type: none"> • all 6 configurable as asynchronous (with IrDA), 4 as clocked serial (SPI), and 2 as SDLC/HDLC • 1 asynchronous clocked serial port shared with programming port • 1 clocked serial port shared with serial flash 	
Serial Rate	Maximum asynchronous baud rate = CLK/8	
Slave Interface	Slave port allows the RCM5400W to be used as an intelligent peripheral device slaved to a master processor	
Real Time Clock	Yes	
Timers	Ten 8-bit timers (6 cascadable from the first), one 10-bit timer with 2 match registers, and one 16-bit timer with 4 outputs and 8 set/reset registers	
Watchdog/Supervisor	Yes	
Pulse-Width Modulators	4 channels synchronized PWM with 10-bit counter 4 channels variable-phase or synchronized PWM with 16-bit counter	
Input Capture	2-channel input capture can be used to time input signals from various port pins	
Quadrature Decoder	2-channel quadrature decoder accepts inputs from external incremental encoder modules	

Tabla 3.2 especificaciones del RCM5400W

Como puede verse la placa dispone de microprocesador que lo programaremos en lenguaje C como se verá mas adelante en este capítulo, módulos de memoria que

usamos para cargar el programa y para almacenar variables, Diversos timers, diversos puertos que pueden ser usados como entradas o salidas, y de 4 canales de PWM de 10 bit, que usamos para generar 4 PWM. Cada una de dichas PWM servirá para controlar la velocidad de un motor.

Figura con los subsistemas que componen la placa.

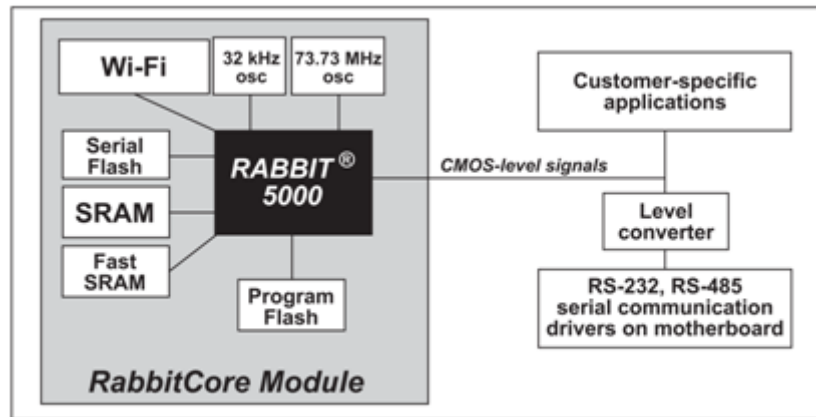


Figura 3.2 Subsistemas

El módulo RCM5400W dispone además de una serie de puertos accesibles desde el exterior, montados en un jumper estándar de 50 pines.

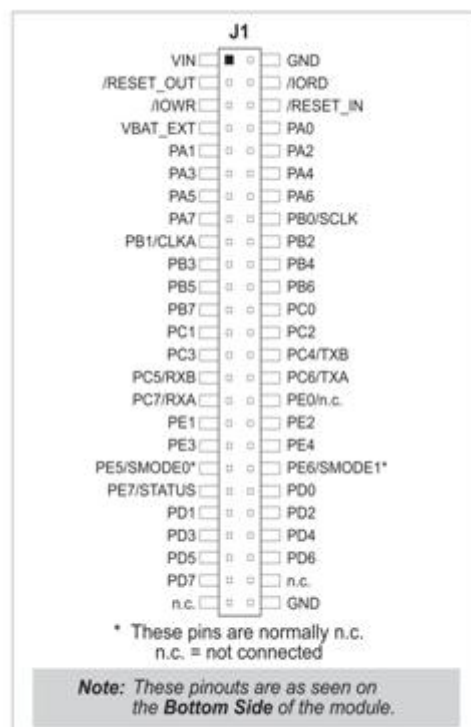


Figura 3.3 Puertos accesibles

La figura nos muestra un diagrama de bloques que especifica cómo pueden ser usados los puertos.

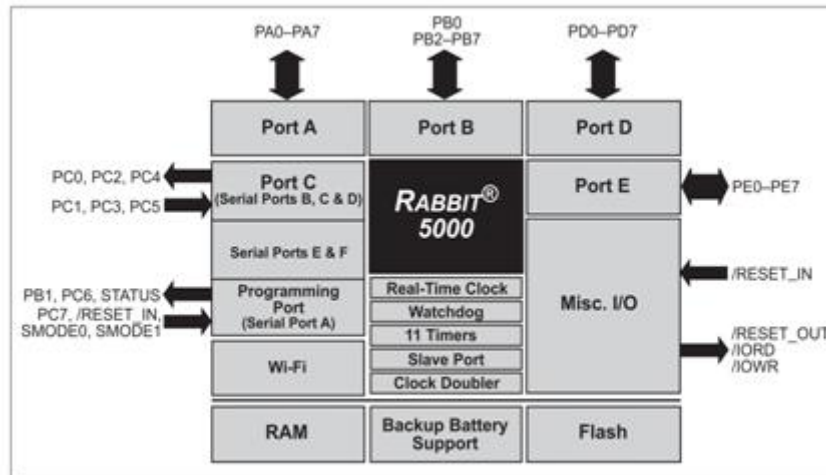


Figura 3.4 Uso de los puertos

La funcionalidad y accesibilidad del módulo RCM5400W lo convierten en un vehículo ideal para el procesamiento de datos y el control del robot objeto en este proyecto.

3.2 Módulo de comunicación inalámbrica

En este proyecto no se tratará la comunicación PC- Robot sino que se ejecutará un programa de prueba del movimiento de la base del robot. No obstante se muestra el módulo de comunicación pues será necesario su uso en las posteriores ampliaciones.

Para lograr una comunicación inalámbrica entre los robots y la inteligencia artificial se requiere de alguna tecnología que lo permita.

El presente robot aprovecha el hecho de que el módulo RCM5400W ya está dotado de un módulo Wi-Fi que proporciona la comunicación inalámbrica necesaria.

En la figura 3.5 se muestra el diagrama de bloques del subsistema Wi-Fi.

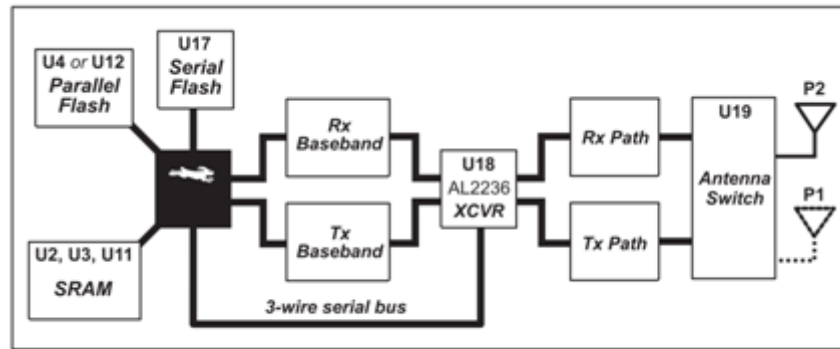


Figura 3.5 Diagrama de bloques

Canales disponibles y sus frecuencias en la placa.

Channel	Center Frequency (GHz)	Frequency Spread (GHz)
1	2.412	2.401–2.423
2	2.417	2.406–2.428
3	2.422	2.411–2.433
4	2.427	2.416–2.438
5	2.432	2.421–2.443
6	2.437	2.426–2.448
7	2.442	2.431–2.453
8	2.447	2.436–2.458
9	2.452	2.441–2.463
10	2.457	2.446–2.468
11	2.462	2.451–2.473
12*	2.467	2.456–2.478
13*	2.472	2.461–2.483
14 (not used)	2.484	2.473–2.495

Tabla 3.3 Canales Wi-Fi

La figura 3.6 muestra un esquema de la comunicación PC-sistema (es decir PC – módulo Wi-Fi)

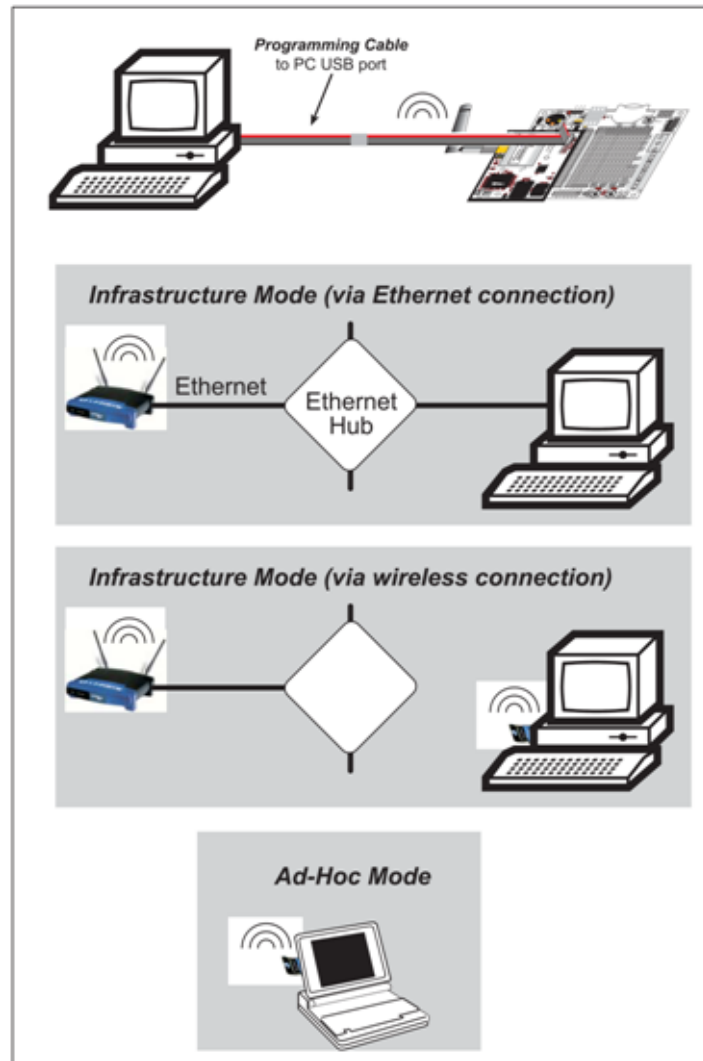


Figura 3.6 Comunicación Wi-Fi PC_Sistema

3.3 Sistema de locomoción

3.3.1 Ruedas omnidireccionales

Para el presente proyecto se seleccionaron 4 ruedas omnidireccionales con las siguientes características por rueda:

Diámetro exterior	49,2 mm
Diámetro del buje	9,5 mm
Peso	28,35 g
Carga máxima admisible	11,3 kg

Tabla 3.4



Figura 3.7 Rueda omnidireccional

Los rodillos son de caucho sintético recubiertos con polipropileno para asegurar el agarre necesario al terreno de juego.

Como más adelante se podrá ver, los motores seleccionados tienen un eje con un diámetro de 4 mm, por lo que se implementa un cilindro con un diámetro interior de 4 mm y otro exterior de 9,5 mm para acoplar el eje del motor al buje de la rueda.

3.3.2 Modelo cinemático y elección del motor

La figura 3.8 muestra la disposición de los motores de los robots.

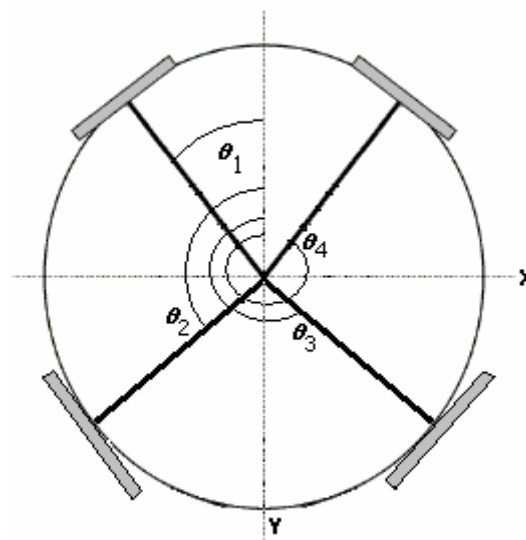


Figura 3.8 disposición de los motores del robot

Se considera una disposición de 4 motores uniformemente distribuidos en la circunferencia que el robot describe, esto implica que los motores se ubicarán a una distancia de 90° entre sí. Esto es posible debido al reducido tamaño de los motores seleccionados [11].



Se ha de tomar el origen de ángulos sobre el eje Y, y con sentido antihorario, con lo que los valores de los ángulos de los motores serán los siguientes:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{4} \text{ rad} = 45^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{3 \cdot \pi}{4} \text{ rad} = 135^\circ$$

$$\theta_3 = \frac{5 \cdot \pi}{4} \text{ rad} = 225^\circ$$

$$\theta_4 = \frac{7 \cdot \pi}{4} \text{ rad} = 315^\circ$$

$$\cos 45 = 0,7071$$

$$\sin 45 = 0,7071$$

$$\cos 135 = -0,7071$$

$$\sin 135 = 0,7071$$

$$\cos 225 = -0,7071$$

$$\sin 225 = -0,7071$$

$$\cos 315 = 0,7071$$

$$\sin 315 = -0,7071$$

Con esta configuración las expresiones de aceleración y velocidad analizadas en el capítulo 2, considerando que $\alpha = \frac{1}{2}$ y el número de ruedas es de 4, son:

$$a = \frac{1}{m} M_A f \quad (2.11)$$

$$v_M = M_V v_R \quad (2.12)$$

Quedan de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ R a_w \end{pmatrix} = \frac{1}{m} \begin{pmatrix} -0,7071 & 0,7071 & 0,7071 & -0,7071 \\ -0,7071 & -0,7071 & 0,7071 & 0,7071 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{pmatrix} v1 \\ v1 \\ v3 \\ v4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,7071 & -0,7071 & 0,25 \\ 0,7071 & -0,7071 & 0,25 \\ 0,7071 & 0,7071 & 0,25 \\ -0,7071 & 0,7071 & 0,25 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Para encontrar las relaciones inversas se utilizan las matrices pseudoinversas M_A^+ y M_V^+ . Como las matrices son rectangulares, para encontrar sus pseudoinversas respectivas se recurre a la definición:

$$A^+ = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \text{ si el rango de } A = n$$

Ó

$$A^+ = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \text{ si el rango de } A = m$$

Siendo A una matriz de mxn.

Como M_A es una matriz de 3x4 y su rango es 3, su pseudoinversa es:

$$M_A^+ = M_A^T \cdot (M_A \cdot M_A^T)^{-1}$$

Como M_V es una matriz de 4x3 y su rango es 3, su pseudoinversa es:

$$M_V^+ = (M_V^T \cdot M_V)^{-1} \cdot M_V^T$$

Calculando las matrices pseudoinversas:

$$M_A^+ = \begin{pmatrix} -0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & 0,3536 & 0,125 \\ -0,3536 & 0,3536 & 0,125 \end{pmatrix}$$

$$M_V^+ = \begin{pmatrix} -0,3536 & 0,3536 & 0,3536 & -0,3536 \\ -0,3536 & -0,3536 & 0,3536 & 0,3536 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Por tanto, las ecuaciones quedan de la siguiente forma:

La ecuación para transformar aceleraciones del robot en fuerzas de los motores:

$$f = m \cdot M_A^+ \cdot a$$

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} -0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & 0,3536 & 0,125 \\ -0,3536 & 0,3536 & 0,125 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ Ra_w \end{bmatrix}$$

La ecuación que transforma velocidades de los motores en velocidades del robot:

$$v_R = M_V^+ \cdot v_M \quad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,3536 & 0,3536 & 0,3536 & -0,3536 \\ -0,3536 & -0,3536 & 0,3536 & 0,3536 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}$$

La ecuación que transforma velocidades del robot en velocidades de los motores:

$$v_M = M_V v_R \quad (2.12)$$

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,7071 & -0,7071 & 0,25 \\ 0,7071 & -0,7071 & 0,25 \\ 0,7071 & 0,7071 & 0,25 \\ -0,7071 & 0,7071 & 0,25 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ w \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

Teniendo en cuenta que la masa “m” de la base del robot es de 1 kg, el radio “R” de las ruedas es de 0,0246 m, que el robot parte del reposo, que el tiempo estipulado que debe tardar el portero en ir desde el centro de la portería a uno de los postes es de 0,33 segundos para poder parar la pelota, y que la distancia desde el centro de la portería a uno de los postes es de 0,35 m obtenemos:

$$d = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (3.9)$$

Siendo:

d = distancia del centro de la portería a uno de los postes.

V_0 = velocidad inicial del robot.

t = tiempo que tarda en recorrer “d”.

a = aceleración necesaria para recorrer la distancia “d” en el tiempo “t”.

Datos:

d = 0,35 m

V_0 = 0 m/s

t = 0,33 s

a = ¿?

Por tanto el valor de la aceleración que debe alcanzar el robot será de:

$$\alpha = \frac{2 \cdot d}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,33^2} = 6,3 \text{ m/s}^2 \quad (3.10)$$

Vector de fuerzas

Las situaciones más favorables tienen lugar cuando el robot se desplaza sobre los ejes cartesianos X e Y, y la a_w es nula. Si se desplaza sobre el eje X, el ángulo " α " que forma el vector de aceleración respecto al eje X, tomando como referencia el eje X, sería de 0° , si se desplaza sobre el eje Y, el ángulo " α " que forma el vector de aceleración respecto al eje Y, tomando como referencia el eje X, sería de 90° , por tanto: Para los ejes X e Y y $a_w = 0$, la proyección del vector de aceleración será [4]:

Sobre X:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0^\circ \\ a_x &= a \cdot \cos \alpha = 6,3 \cdot \cos 0 = 6,3 \text{ m/s}^2 \\ a_y &= a \cdot \sin \alpha = 6,3 \cdot \sin 0 = 0 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Sobre el eje Y:

$$\begin{aligned} \alpha &= 90^\circ \\ a_x &= a \cdot \cos \alpha = 6,3 \cdot \cos 90 = 0 \text{ m/s}^2 \\ a_y &= a \cdot \sin \alpha = 6,3 \cdot \sin 90 = 6,3 \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Con lo que podemos obtener los vectores de fuerzas y velocidades para las dos situaciones de movimiento sobre los dos ejes cartesianos.

Sobre X:

$$f = m \cdot M_A^+ \begin{bmatrix} 6,3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (3.13)$$

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} -0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & 0,3536 & 0,125 \\ -0,3536 & 0,3536 & 0,125 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 6,3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2,23 \\ 2,23 \\ 2,23 \\ -2,23 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Sobre Y:

$$f_y = m \cdot M_A^+ \begin{bmatrix} 0 \\ 6,3 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (3.15)$$

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} -0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & 0,3536 & 0,125 \\ -0,3536 & 0,3536 & 0,125 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 6,3 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2,23 \\ -2,23 \\ 2,23 \\ 2,23 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Las situaciones más desfavorables tienen lugar cuando el robot se desplaza sobre las diagonales de los ejes cartesianos X e Y, y la a_w es nula. Si se desplaza sobre la diagonal del primer y tercer cuadrante o sobre la diagonal del segundo y cuarto cuadrante, el ángulo " α " que forma el vector de aceleración respecto al eje X, tomando como referencia el eje X, sería de 45° , por tanto:

Para el de aceleración será: $a = [a_x \quad a_y \quad a_w]$.

a_x :

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a_x = a \cdot \cos \alpha = 6,3 \cdot \cos 45 = 4,45 \text{ m/s}^2 \quad (3.17)$$

a_y :

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a_y = a \cdot \sin \alpha = 6,3 \cdot \sin 45 = 4,45 \text{ m/s}^2 \quad (3.18)$$

Con lo que podemos obtener los vectores de fuerzas y velocidades para las dos situaciones de movimiento sobre los dos ejes cartesianos.

$$f = m \cdot M_A^+ \begin{bmatrix} 4,45 \\ 4,45 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad (3.19)$$

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} -0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & -0,3536 & 0,125 \\ 0,3536 & 0,3536 & 0,125 \\ -0,3536 & 0,3536 & 0,125 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4,45 \\ 4,45 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3,15 \\ 0 \\ 3,15 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Por tanto las situaciones más desfavorables se dan en las diagonales de los ejes cartesianos.

De estas ecuaciones se obtiene que la fuerza que debe aplicar el motor sobre las ruedas, en el peor de los casos, debe ser de 3,15 N. Por lo que el par requerido en el motor es de:

$$Par = fR = 3,15 \cdot 0,0246 = 0,077 \text{ Nm} \quad (3.21)$$

Vectores de velocidades:

Considerando que los robots deben alcanzar una velocidad máxima de 2.5 m/s , puesto que la velocidad alcanzada en las competiciones oficiales es de aproximadamente 2.3 m/s , y considerando las mismas hipótesis que para la aceleración, (es decir que el peor de los casos será cuando el robot se desplace por las diagonales de los ejes cartesianos y no rote sobre sí mismo), se obtiene:

Para la velocidad será: $v_R = [v_x \quad v_y \quad w]$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\begin{aligned} v_x &= v \cdot \cos \alpha = 2.5 \cdot \cos 45 = 1.77 \text{ m/s} \\ v_y &= v \cdot \sin \alpha = 2.5 \cdot \sin 45 = 1.77 \text{ m/s} \end{aligned}$$

(3.22)

$$v_M = M_V v_R$$

(2.12)

$$\begin{pmatrix} v1 \\ v1 \\ v3 \\ v4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.7071 & -0.7071 & 0.25 \\ 0.7071 & -0.7071 & 0.25 \\ 0.7071 & 0.7071 & 0.25 \\ -0.7071 & 0.7071 & 0.25 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1.77 \\ 1.77 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.5 \\ 0 \\ 2.5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

(3.23)

Se puede comprobar que la velocidad lineal máxima que los motores deben desarrollar para que el robot pueda tener una velocidad de 2.5 m/s , será de 2.5 m/s , con lo que pasamos a calcular la revoluciones por minuto que deberán dar los motores para alcanzar dicha velocidad.

$$w_{max} = V_{max} \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R} \left[\frac{rev}{sec} \right] \left[\frac{60 sec}{min} \right]$$

(3.24)

$$w_{max} = 2.5 \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0.0246} \left[\frac{rev}{sec} \right] \left[\frac{60 sec}{min} \right] = 970 \text{ r.p.m}$$

(3.25)



Conclusión

Por todo lo anterior, el motor seleccionado debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

Torque después de engranes: 0,077 N·m
Revoluciones por minuto: 970 rpm

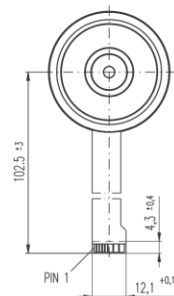
Con todas estas consideraciones se debe optar por elegir el motor DC que cumpla con todos los requisitos.

El motor seleccionado para el proyecto es el EC 45 FLAT BRUSHLESS 30 W de Maxon motor que tiene las siguientes características:

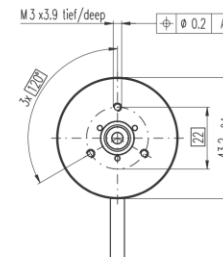
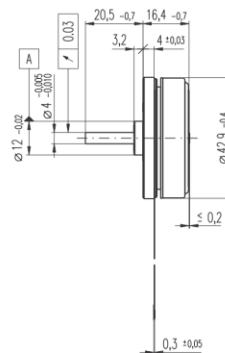
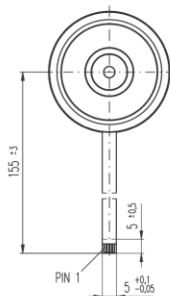
EC 45 flat Ø45 mm, Conmutación electrónica (Brushless), 30 Vatios

maxon flat motor

A con sensores Hall



B sin sensores



M 1:2

- ☒ Programa Stock
☐ Programa Estándar
☐ Programa Especial (previo encargo)

Números de Referencia

A con sensores Hall

B sin sensores

Datos del motor		200142	200189	339281	339283	339282	339284
Valores a tensión nominal							
1	Tensión nominal	V	12.0	12.0	24.0	24.0	36.0
2	Velocidad en vacío	rpm	4370	4360	4370	4370	4760
3	Corriente en vacío	mA	151	150	75.3	75.2	56.9
4	Velocidad nominal	rpm	2860	2820	2850	2840	3210
5	Par nominal (máx. par permanente)	mNm	59.0	54.3	58.8	57.5	69.5
6	Corriente nominal (máx. corriente en continuo)	A	2.14	2.00	1.07	1.05	0.893
7	Par de arranque	mNm	255	219	253	243	380
8	Corriente de arranque	A	10.0	8.57	4.96	4.77	5.38
9	Máx. rendimiento	%	77	76	77	77	81
Características							
10	Resistencia en bornes fase-fase	Ω	1.20	1.40	4.84	5.04	6.70
11	Inductancia en bornes fase-fase	mH	0.560	0.560	2.24	2.24	4.29
12	Constante de par	mNm / A	25.5	25.5	51.0	51.0	70.6
13	Constante de velocidad	rpm / V	374	374	187	187	135
14	Relación velocidad / par	rpm / mNm	17.6	20.6	17.8	18.5	13.2
15	Constante de tiempo mecánica	ms	17.1	19.9	17.2	17.9	12.4
16	Inercia del rotor	gcm ²	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5

Especificaciones

- Datos térmicos**
 17 Resistencia térmica carcasa/ambiente 4.23 K / W
 18 Resistencia térmica bobinado/carcasa 4.57 K / W
 19 Constante de tiempo térmica del bobinado 13.2 s
 20 Constante de tiempo térmica del motor 186 s
 21 Rango de funcionamiento -40 ... +100°C
 22 Máx. temperatura del bobinado +125°C
Datos mecánicos (rodamiento a bolas pretensado)
 23 Máx. velocidad permitida 10000 rpm
 24 Juego axial < 5.0 N 0 mm
 con carga axial > 5.0 N typ. 1.0 mm
 25 Juego radial pretensado
 26 Carga axial máx. (dinámica) 4.8 N
 27 Máx. fuerza de empuje a presión (estática) 50 N
 (idem. con eje sostenido) 1000 N
 28 Carga radial máx. a 7.5 mm de la brida 5.5 N

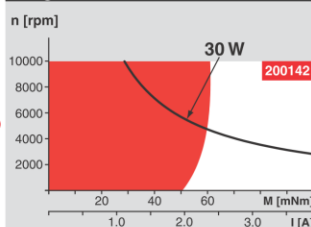
Otras especificaciones

- 29 Número de pares de polos 8
 30 Número de fases 3
 31 Peso del motor 88 g

Los datos de la tabla son valores nominales.

Conexiones	con sensores Hall	sin sensores
Pin 1	4.5 ... 18 VDC	Bobinado 1 motor
Pin 2	Sensor Hall 3°	Bobinado 2 motor
Pin 3	Sensor Hall 1°	Bobinado 3 motor
Pin 4	Sensor Hall 2°	↖ punto neutro
Pin 5	GND	
Pin 6	Bobinado 3 motor	
Pin 7	Bobinado 2 motor	
Pin 8	Bobinado 1 motor	
*Interna pull-up (7 ... 13 kΩ) auf Pin 1		
Esquema de conexión para los sensores Hall v. p. 29		
Adaptador	N° de Referencia	N° de Referencia
ver pág. 299	220300	220310
Conector	N° de artículo	N° de artículo
AMP	1-487951-1	487951-4
MOLEX	52207-1190	52207-0490
MOLEX	52089-1110	52089-0410
Terminal para sensores Hall: FPC, 11-pol, paso 1.0 mm, top contact style		

Rango de funcionamiento



Leyenda

- ☒ **Funcionamiento continuo**
 Teniendo en cuenta los valores de resistencia térmica antes mencionados (líneas 17 y 18). El rotor alcanzará la máxima temperatura durante funcionamiento continuo a 25°C de temperatura ambiente = límite térmico.
☐ **Funcionamiento intermitente**
 El motor puede ser sobrecargado durante cortos períodos (cíclicamente).
 — **Potencia nominal asignada**

Sistema Modular maxon

Esquema general en página 16 - 21

Reductor planetario

Ø42 mm

3 - 15 Nm

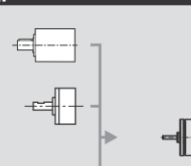
Página 244

Reductor engranaje recto

Ø45 mm

0.5 - 2.0 Nm

Página 246



Electrónicas Recomendadas:

DECS 50/5	Página 284
DEC 24/3	285
DEC 50/5	285
DECV 50/5	286
EPOS 24/1	294
EPOS 24/5	294
EPOS P 24/5	297
Notas	20



Como puede verse en la hoja de características, en un principio el motor proporciona más rpm de las necesarias, pero un par inferior. Para solucionar esta usamos una reductora, que consiste en un tren de engranajes, de modo que aumentamos el par de salida a costa de la reducción de la velocidad angular.

Calculo de la reductora

Para garantizar la durabilidad del motor y evitar fallos debidos a sobrecalentamientos, usaremos las condiciones nominales proporcionadas por el fabricante. Si una vez realizados los cálculos no obtuviéramos las relaciones par-velocidad deseadas, podríamos solucionar el problema simplemente aumentando la tensión del motor.

En los motores DC, la velocidad angular del eje del motor esta relacionada con la tensión de alimentación, de modo que si aumentamos la tensión aumentarán las rpm del eje. En nuestro caso el fabricante nos indica que no debemos sobrepasar las 10000 rpm. Si aumentamos la corriente, aumentaremos el par. En un principio no queremos aumentar la corriente pues esto influye negativamente en la durabilidad de las baterías.

-Condiciones nominales: $W_e = 2820$ rpm; $T_e = 54,3$ mNm; $R = 76\%$

- Requisitos: $W_s > 970$ rpm; $T_s > 77$ mNm

Siendo: W_e = rpm del eje motor; T_e = par del eje motor; R = rendimiento conjunto motor-reductora; W_s = rpm del eje de salida (eje de la reductora); T_s = par del eje de la reductora; K = reducción.

$$T_s W_s = R T_e W_e \quad (3.26)$$

Siendo:

$$k = T_s / T_e = R (W_e / W_s) \quad (3.27)$$

$$K = 77 / 54,3 = 1,42 \quad (3.28)$$

$$W_s = 0,76 \times (2820 / 1,42) = 1509,3 \text{ rpm} \quad (3.29)$$

Usando una reducción 2:1, obtenemos:

$$K = 2$$

$$T_s = 2 \times 54,3 = 108,6 \text{ mNm} \quad (3.30)$$

$$W_s = 0,76 \times (2820 / 2) = 1072 \text{ rpm} \quad (3.31)$$

Como $T_s > 77$ mNm y $W_s > 970$ rpm, se cumple con las necesidades.

En función de los cálculos anteriores será utilizada una reductora 2:1 proporcionada por el fabricante, lo que nos proporcionará suficiente par y velocidad angular a la salida del eje secundario y por consiguiente en las ruedas.

3.3.3 Control de motores.

Los motores DC son motores eléctricos conducidos con corriente continua. Su uso está muy extendido en el control electrónico de sistemas mecánicos. Se utilizan en aplicaciones en las que la precisión es fundamental para una rotación, propulsión o una traslación.

El principal problema de los motores de corriente continua es el control de velocidad. Para la mayoría de las aplicaciones, la velocidad es un factor importante que determinará la calidad de la operación. Otra característica de muchas aplicaciones es el control de la dirección de rotación.

Los Motores de corriente continua poseen dos electrodos. Conectando los electrodos respectivamente a alimentación y tierra el motor gira en un sentido, intercambiando las conexiones, el motor girará en el sentido contrario.



Figura 3.10 Motor DC



Figura 3.11 Motor DC con reductora

El control de la velocidad de motores de corriente continua se realiza ya sea a través de la variación de la tensión o por medio de un tren de pulsos. Aplicando un tren de pulsos en uno de los electrodos proporcionará al motor conducción durante una fracción de tiempo. Esto tiene el efecto de ajustar la velocidad a un valor más o menos estable. La frecuencia del pulso y el ciclo de trabajo fijarán la cantidad de corriente recibida por las bobinas del motor por unidad de tiempo y por tanto determinarán la velocidad de rotación.

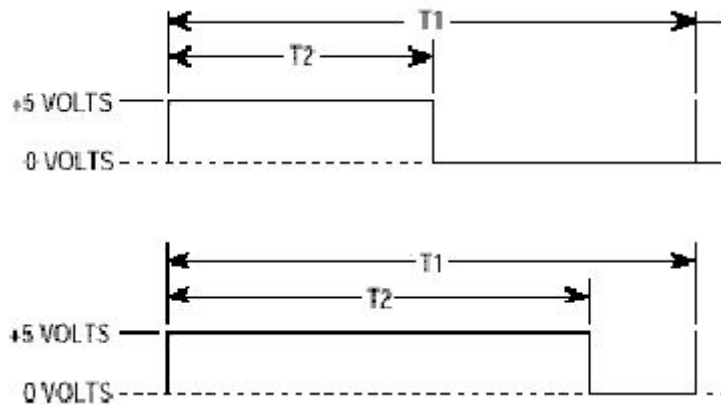


Figura 3.12 Pulso de Amplitud Modulada

En la siguiente figura se puede observar que a medida que los pulsos se hacen más anchos el nivel de continua se hace superior.

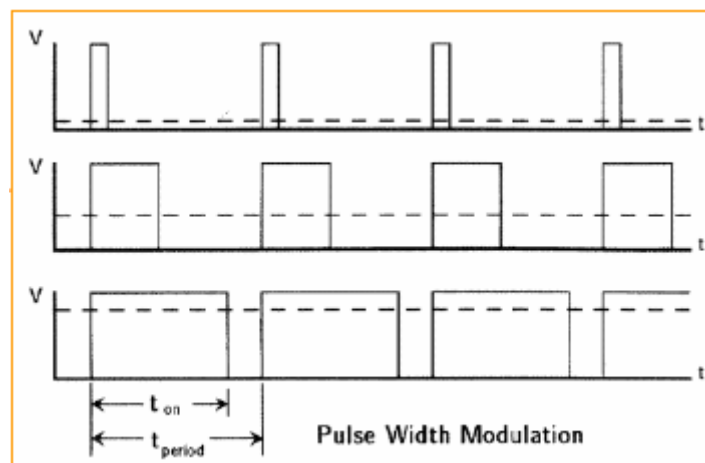


Figura 3.13 Modulación por ancho de pulso

La lógica de control de velocidad utiliza un bucle de retroalimentación que ajusta continuamente el ancho de pulso. Recibe la velocidad usando codificadores de velocidad denominados sensores ópticos o encoders ópticos. Estos codificadores están unidos a eje del motor. La rotación de un disco que tiene una serie de agujeros precisamente perforados, cortará alternativamente el haz de luz de un diodo adjunto, este haz de luz es recogido por un fotoreceptor. La señal obtenida a la salida es una señal digital con forma de onda cuadrada con un ancho de pulso que corresponde al tiempo transcurrido al paso de un agujero al siguiente. Teniendo en cuenta que el ángulo entre dos agujeros consecutivos es conocido, o que el número de agujeros del disco es conocido, el cálculo necesario para conocer la velocidad real del eje del motor es sencillo.

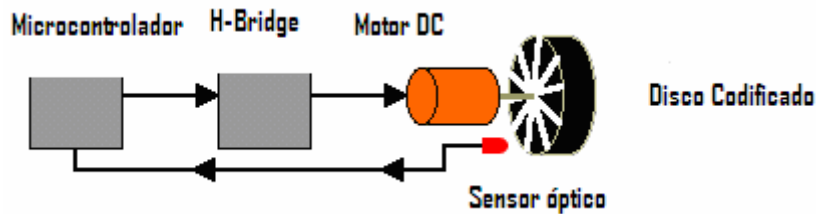


Figura 3.14 Encoder óptico

A continuación se muestra el cálculo para hallar las RPM del eje del motor:

$$\text{RPM} = (\text{n}^\circ \text{ pulsos contados} \times 60 \text{ seg} \times 1 \text{ rev}) / (\text{T}^\circ(\text{s}) \text{ transcurrido} \times 1 \text{ min} \times \text{n}^\circ \text{ agujeros del disco}) \quad (3.32)$$

Ejemplo: hemos contado 100 pulsos en 2 segundos, el disco tiene 25 agujeros.

$$\text{RPM} = (100 \times 60 \times 1) / (2 \times 1 \times 25) = 120 \text{ rpm} \quad (3.33)$$

El control de los motores se realiza mediante una PWM generada por el microprocesador, un puente en H que hará las veces de controlador (driver) del motor y un encoder que generará una señal digital que será recogida por el microprocesador, el cual la comparará con la que envió. Si la velocidad del motor es menor que la enviada, el microprocesador generará una señal con un ancho de pulso mayor, si la velocidad es mayor, el microprocesador generará una señal con un ancho de pulso menor, de esta manera se realizará un control del motor por realimentación.

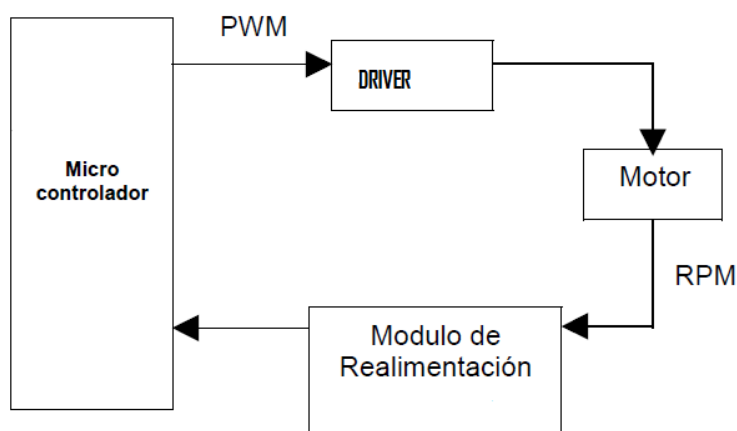


Figura 3.15 Diagrama de bloques del sistema de control de velocidad

3.3.3.1 Driver de potencia

Como driver de potencia, se usa un puente en H que proporciona la potencia necesaria al motor, puesto que los niveles de tensión y corriente del microprocesador son insuficientes.

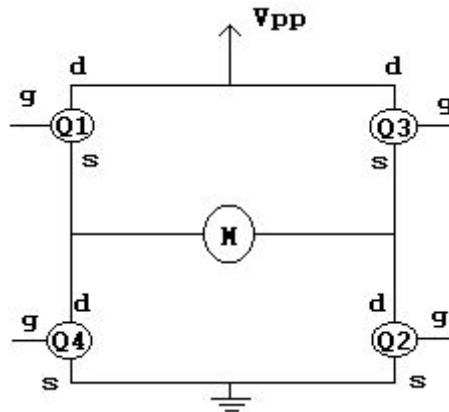


Figura 3.16 Puente en H

En un principio se barajó la posibilidad de manejar tres posibles controladores: el controlador L298N, el L6227 en encapsulado DIP de 24 pines y el LMD18200T para los motores puesto que funcionan perfectamente y no generan ningún problema en la implementación de la electrónica necesaria para su correcto funcionamiento. Finalmente se decidió usar el LMD18200T debido a que era mas fácil de conseguir que el L298N y debido también a que resultó imposible localizar a un proveedor que suministrara el L6227 en encapsulado DIP de 24 pines. El L6227 estaba disponible en encapsulado SMD, lo cual complica su implantación en una placa por su reducido tamaño. Por todo lo anteriormente dicho se elige finalmente el controlador LMD18200T de 11 pines. Se utiliza uno por motor.

El LMD18200T es un Puente en H diseñado para aplicaciones de control de motores DC y motores paso-paso. Capaz de soportar corrientes superiores a los 3 A en conducción continua y superiores a 6 A de pico. Como pudo verse en la elección de los motores, no se superan estos rangos y por tanto el LMD18200T es ideal para nuestro robot. Al usarse uno por motor garantizamos no sobrepasar las corrientes de pico más altas, las cuales tendrán lugar siempre en el arranque del motor [8].

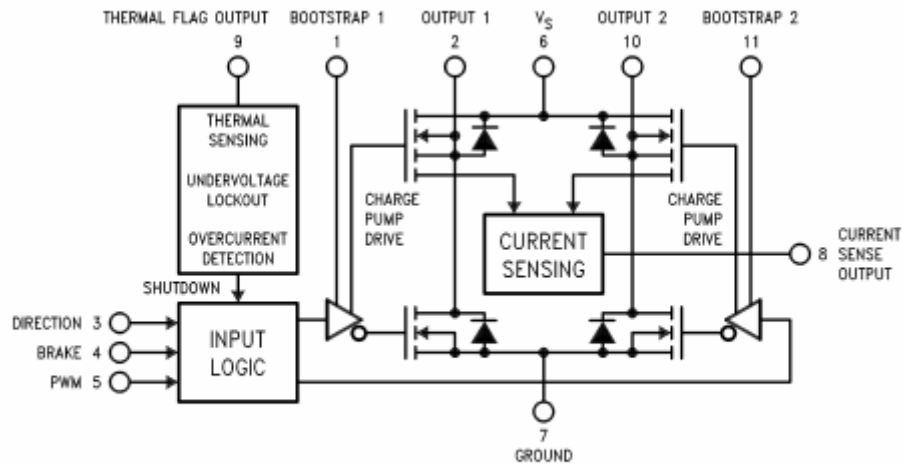


Figura 3.17 Diagrama de bloques del LMD18200T

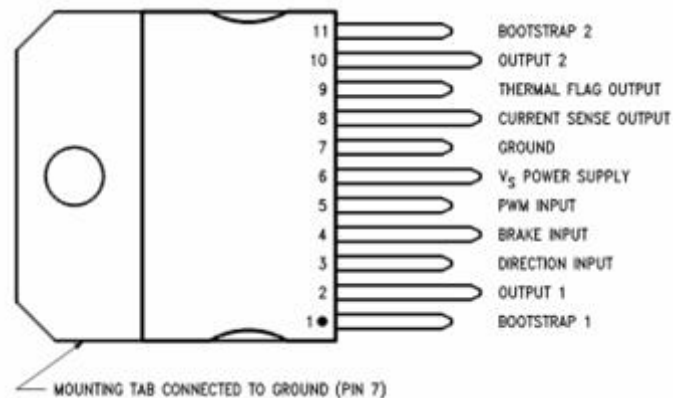


Figura 3.18 Diagrama de conexiones de LMD18200T

La tabla 3.5 muestra la configuración del LMD18200T para este propósito:

PIN	USO
1. Boot Strap 1	No conectado
2. Output 1	Conectado a una de las entradas del motor
3. Direction input	Entrada para la dirección (izquierda-derecha)
4. Brake input	Entrada para accionar el freno motor
5. PWM input	Entrada para la PWM
6. Vs power suply	Vs
7. Ground	Tierra
8. Current sense output	No conectada
9. Thermal Flag output	No conectada
10. Output 2	Conectado a la otra entrada del motor
11. Boot Strap 2	No conectado

Tabla 3.5 Configuración del LMD18200T

Los pines 1 y 11 se conectan a los pines 2 y 10 mediante un condensador, cada uno, de 10 nF por, recomendación del fabricante, para evitar efectos de inductancia en las entradas del motor.

La tabla 3.6 muestra la tabla de la verdad para controlar los motores mediante una PWM a través del LMD18200T.

PWM	DIR	BRAKE	OUTPUT 1	OUTPUT 2	CORRIENTE
H	H	L	FUENTE	L	DE OUTPUT1 A OUTPUT2
H	L	L	L	FUENTE	DE OUTPUT2 A OUTPUT1
L	X	L	FUENTE	FUENTE	0
H	H	H	FUENTE	FUENTE	0
H	L	H	L	L	0
L	X	H	NO ACTIVA	NO ACTIVA	0

Tabla 3.6 Tabla de verdad

Como puede apreciarse en las tablas anteriores, las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento serán las siguientes:

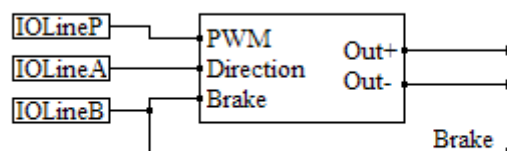


Figura 3.19 conexiones del driver

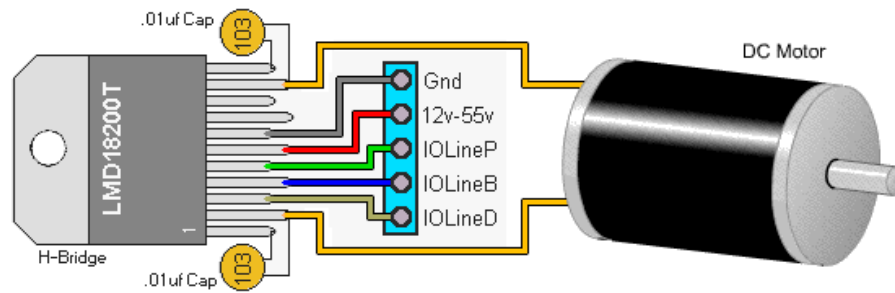


Figura 3.20 Esquema de conexiones

Las señales necesarias para el control de los motores las proporciona la placa de Rabbit RCM5400W RABBITCORE.

El encoder ya viene incorporado con el motor elegido.

3.4 Base

La base se realizará en aluminio para que sea ligera, resistente y disipe calor. Los motores se acoplan a la base mediante pletinas de aluminio. A continuación se presenta una figura que representa como será la disposición inferior de los motores en la base.

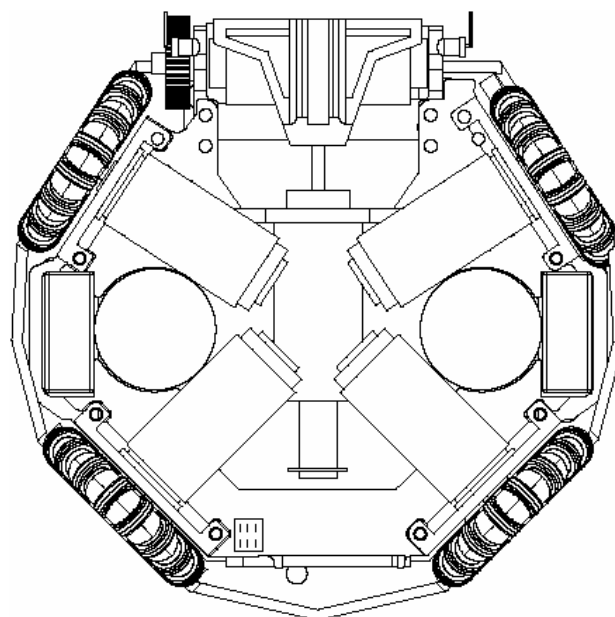


Figura 3.21 Vista inferior de la base



3.5 Alimentación de los robots.

Se barajan dos posibilidades, por un lado usar baterías de Ni-MH (Níquel-metalhidruro), y por otro lado utilizar baterías de Li-Po (Litio polímero) [6].

Las baterías, que son sistemas de almacenamiento de energía (igual que las pilas) pero que pueden reutilizarse. Esta característica les permite ser recargadas y usadas repetidamente un amplio número de veces (dependerá del tipo de batería). Gracias a ello, ahorraremos bastante dinero en pilas ya que, aunque las baterías son más caras que las pilas, a medio plazo es rentable.

Si vamos a emplearlas habitualmente merece la pena, sin duda. Pero debemos elegir aquellas que sean más acordes a nuestras necesidades. Es decir, dependiendo de lo que vayamos a hacer, necesitaremos más voltaje o intensidad, duración, ligereza, etc. Por eso es importante definir nuestro proyecto, para saber cuales van a ser nuestras necesidades.

Dos aspectos muy importantes son el voltaje y la intensidad. Dependiendo de para que los usemos, habrá que usar uno u otro. Por ejemplo la lógica de nuestra placa se suele alimentar a 3,3 voltios, pero si está utilizando el WIFI tendremos que alimentarla a 5 voltios, no obstante al tener incorporada la placa de prueba que ejerce las veces de circuito protector podemos alimentar la placa a través de la placa de prueba a 12 voltios, con una intensidad inferior a 1 amperio. Sin embargo, los motores pueden admitir más, las tensiones de los motores de continua, tienen un interés especial, puesto que a mayor tensión suministrada al motor supondrá mayor velocidad en su eje, por otro lado a mayor corriente suministrada al motor, lo que aumentará será su par. Las tensiones de los motores utilizados estarán a un mínimo de 12 voltios, consumiendo corrientes superiores a los dos amperios.

Por otro lado, quizá nos interese la ligereza puesto que nuestro robot es muy pequeño, o que las baterías sean económicas y de muchas recargas.

Las baterías son elementos que transforman la energía química almacenada en energía eléctrica. Un dato importante son los miliamperios.hora (mA.h). Este dato indica cuanta intensidad dan y durante cuanto tiempo, si dan 1600 mA.h significa que pueden ser usados 1 hora a 1,6 A o 30 minutos a 3,2 A hasta que se agotan.

A continuación se analizan todos los tipos que existen y se comercializan. Cada uno se adecua a unas necesidades concretas.

3.5.1 Ni/Cd (Níquel/cadmio)

Como indica su nombre, sus componentes principales son el hidróxido de níquel y el de cadmio. Son quizá un poco antiguas, ahora se emplean poco, pero pueden seguir siendo útiles.

Inconvenientes: El cadmio es tóxico, tienen efecto memoria (acusado, se forman cristales en su interior si se carga sin estar completamente descargada) e invierten la polaridad si se descarga por debajo de su tensión mínima, además pesan bastante y ofrecen poca capacidad.

Ventajas: Bajo precio, alto número de ciclos de carga y descarga (+ 1000), se cargan más o menos rápido.

3.5.2 Ni/MH (Níquel metalhidruro)

Estas sustituyen el cadmio por el hidruro metálico, que no es tóxico. Estas están bastante extendidas y se usan habitualmente debido a su bajo precio y a que existen, entre otros, como pilas recargables.



Figura 3.22 Baterías Ni/MH

Inconvenientes: requieren cargadores específicos, se cargan más lentamente, sus ciclos de carga son unos 500-600 (algunas hasta 1000) y son sensibles al calor (en principio, no es un problema).

Ventajas: No son tóxicas, tienen un 40% más de capacidad que las de Ni/Cd, no sufren efecto memoria, pesan menos y son baratas.

Además las podemos encontrar como pilas recargables, que son más fáciles de usar y útiles.

Los pesos de las baterías AA de Ni/MH serán los siguientes:

- AA: 1700 mAh - 1800 mAh: 27 gr
- AA: 1800 mAh - 2000 mAh: 27,5 gr
- AA: 2000 mAh - 2200 mAh: 28 gr

- AA: 2200 mAh - 2300 mAh: 29 gr
- AA: 2300 mAh - 2400 mAh: 30 gr
- AA: 2500 mAh: 30 gr
- AA: 2600 mAh - 2700 mAh: 31 gr
- AA: 2800 mAh: 31 gr
- AA: 2950 mAh: 33 gr

3.5.3 Ión Litio (Li-ion)

Estas baterías son las más usadas en móviles, PDAs etc. Son delgadas y ligeras, proporcionando una alta capacidad (superior a las Ni/MH). Pero son considerablemente más caras. Usan grafito y óxido de cobalto o trifilina.



Figura 3.23 Batería de Li-ion

Inconvenientes: Son caras, tienen menos ciclos de carga (300-500 ciclos) y funcionan peor a bajas temperaturas.

Ventajas: No sufren efecto memoria, tienen una capacidad de carga superior a las Ni/Cd y Ni/MH, pesan y miden poco.

3.5.4 Li-Po (Litio polímero)

Estas baterías son muy recientes y se pueden encontrar en los portátiles más nuevos y en los móviles más recientes. Son una mejora considerable respecto las Li-ion. Pero han de manejarse con cuidado, porque son inestables si se cargan mal, pueden llegar a incendiarse. Se ha de tener mucho cuidado con el cargador que usemos.



Figura 3.24 Bateria Li-Po

Inconvenientes: Son peligrosas, requieren un cargador especial, menos ciclos de carga (300-500).

Ventajas: Altísima capacidad, descarga de mucha intensidad, muy ligeras y pequeñas (4 veces más que las de Ni/MH), sin efecto memoria y tardan poco en cargarse.

3.5.5 Plomo ácido

Formadas por plomo y óxido de plomo, son las que se emplean en los coches. No están muy extendidas.



Figura 3.25 Baterías de Plomo ácido

Inconvenientes: Excesivo peso para los microrobots.

3.5.6 Cargadores

Esta selección es importante, ya que dependiendo del tipo de batería que usemos debemos usar uno u otro. La mayoría de las baterías requieren uno especial y es algo muy a tener en cuenta. Debemos consultar al fabricante sobre el tipo de cargador adecuado, o usar uno que sea adecuado para el tipo de batería que usamos. Hay algunos (algo más caros) que son capaces de cargar varios tipos de baterías distintos, como Ni/Cd, Ni/MH y Li-ion.



Figura 3.28 Cargador de distintos tipos de baterías

3.5.7 Conclusiones

Lo más recomendable es usar las baterías Li-Po o Ni-MH para proyectos normales. Las baterías recargables de Ni-MH si es posible y un cargador específico para este tipo de pilas. Existen varios tipos de baterías de Ni-MH: C, D, AA, AAA, cuya elección dependerá de nuestras necesidades. Si necesitamos altas prestaciones, hay que irse al litio polímero, ya que ofrecen alta capacidad de descarga, pesan poco, no tienen efecto memoria, son pequeñas y se cargan rápidamente. Su inconveniente es el precio. Si no necesitamos muy elevadas prestaciones, usaremos la de Ni-MH, debido a su principal ventaja que es el precio, por ejemplo, por unos 16 €, hay 4 pilas recargables Ni-MH del tipo AA que proporcionan 1,2 voltios y 2,8 amperios.hora. Por 18 € podemos encontrar cargadores para todos los tipos de pilas recargables Ni-MH. Los cargadores de litio-polímero rondan los 37 €, pero necesitas uno específico para cada batería, además el precio de la batería ronda los 66 € cada una. El problema de las baterías de Li-Po es que si no se cargan correctamente arden y se convierten en un grave peligro.

Efecto memoria: Este efecto consiste en que las baterías, cuando no se descargan del todo y se vuelven a cargar, pierden efectividad y cada vez duran menos. Sucede en todas las baterías, aunque en pequeña medida en todas, menos en las de Ni/Cd, donde se forman cristales internos.



Ecología: Debemos usar baterías si vamos a usarlas varias veces porque así evitamos comprar pilas y desecharlas posteriormente, ya que recordemos que tienen un alto poder contaminante.

Pilas: las pilas tal cual las conocemos no son recargables, por otro lado tienen un máximo de capacidad de descarga que no pueden superar, por ejemplo una pila alcalina de 1900 mA.h no nos puede suministrar en ningún caso mas de 1900 mA. Por este motivo no son aconsejables para los microrobots puesto que tendremos necesidades mayores de corriente en momentos puntuales tales como el arranque de los motores donde la demanda de corriente puede ser de 4 a 10 Amperios durante unos microsegundos.

Comparativa de precios:

Como se verá a continuación necesitamos 14 baterías de Ni-Mh de 1,2V y 2800 mA.h ó 2 baterías de Li-Po de 7,5 V 5000 mA.h

Precios:

Batería Ni-Mh: $16/4 = 4$ €/ud

Batería Li-Po: 66 €/ud

Total baterías Ni-Mh: 14 ud

Total baterías Li-Po: 2 ud

Total precio baterías Ni-Mh: $14 \times 4 = 56$ €

Total precio baterías Li-Po: $2 \times 66 = 132$ €

Por todo lo anteriormente expuesto se escogen para este proyecto baterías del tipo Ni/MH por ser mas baratas y menos peligrosas a pesar de ser mas pesadas y ocupar mayor volumen.

Cálculos

Ha continuación se muestra un ejemplo de cómo calcular el tiempo de duración de las baterías y el número de baterías necesarias en una aplicación.

Ejemplo 1.

Disponemos de un motor DC de 30 W de potencia y una tensión nominal de 12 V, queremos alimentarlo con baterías de 2800 mA.h y 1,2 V. Calcular el número de baterías necesarias y el tiempo que tardarán en descargarse.

$$N^{\circ} \text{ baterías} = 12 \text{ V} / 1,2 \text{ V/batería} = 10 \text{ baterías} \quad (3.34)$$

$$P = V \cdot I; I = P/V = 30 \text{ W} / 12 \text{ V} = 2,5 \text{ A corriente demandada por el motor} \quad (3.35)$$

$$2,8 \text{ A.h} / 2,5 \text{ A} = 1,12 \text{ h}; 1,12 \times 60 = 67,2 \text{ min duración de las baterías} \quad (3.36)$$

En este ejemplo, la corriente demandada es inferior a la nominal de las baterías, con lo que el cálculo es bastante aproximado a la realidad. Si la corriente demandada es superior a la nominal de las baterías, hay que aplicar un coeficiente de

aproximadamente el 20%, puesto que, como puede verse en la grafica siguiente, la relación entre el rango de descarga y la durabilidad no es lineal, es decir a mayor corriente demandada, menor será el tiempo en el que las baterías se descarguen.

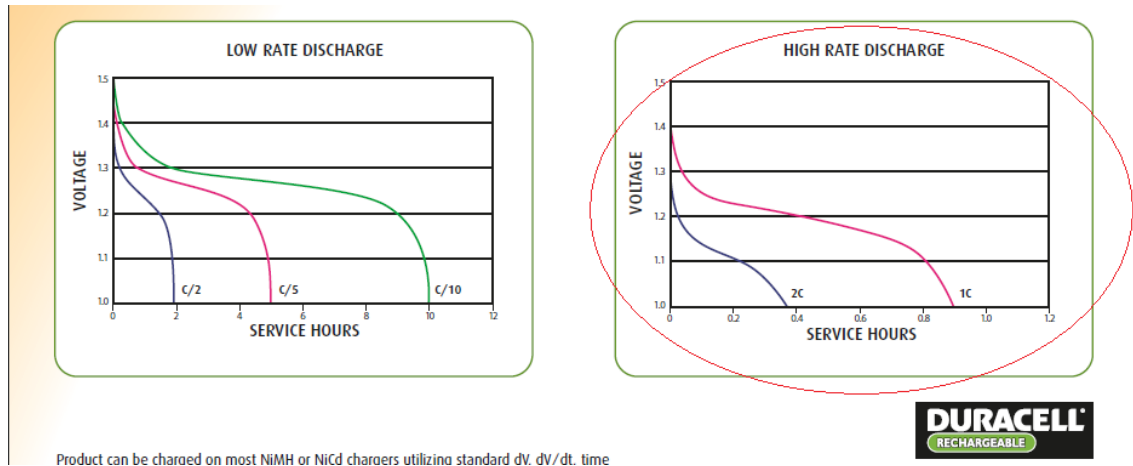


Figura 3.29 Curvas de durabilidad

Ejemplo 2.

Disponemos de 4 motores DC de 30 W de potencia cada uno y una tensión nominal de 12 V, queremos alimentarlos con baterías de 2800 mA.h y 1,2 V. Calcular el número de baterías necesarias y el tiempo que tardarán en descargarse.

$$P = 4 \times 30 = 120 \text{ W} \quad (3.37)$$

$$\text{Nº baterías} = 12 \text{ V} / 1,2 \text{ V/batería} = 10 \text{ baterías} \quad (3.38)$$

$$P = V \cdot I; I = P/V = 120 \text{ W} / 12 \text{ V} = 10 \text{ A corriente demandada por los 4 motores} \quad (3.39)$$

$$2,8 \text{ A.h} / 10 \text{ A} = 0,28 \text{ h} ; 0,28 \times 60 = 16,8 \text{ min duración teórica de las baterías} \quad (3.40)$$

Aplicamos el coeficiente del 20%

$$16,8 \times 0,8 = 13,44 \text{ min duración real de las baterías con los 4 motores al 100% durante los 13,44 min.}$$

Como podemos ver a medida que demandamos mas potencia, disminuye la durabilidad de las baterías, para aumentar el tiempo de descarga es recomendable aumentar la tensión que proporcionan las baterías, y controlar esta tensión con un convertidor DC/DC. En este caso se usa un MC7812C el cual dará un máximo de 12 V a la salida. Además añadiremos el resto de necesidades máximas de potencia que en conjunto



serán: 1 placa rabbit, 4 Driver LMD18200T, 2 Convertidor DC/DC MC7812C, 4 motores de 30 W. Total 144 W

$$P = 144 \text{ W}$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = 12 \text{ V} / 1,2 \text{ V/batería} = 10 \text{ baterías mínimo} \quad (3.41)$$

Como queremos que como nuestro robot aguante 15 min en el terreno de juego en cada período del partido, (repartidos en 10 min por tiempo mas 5 min de posible prórroga por tiempo), a pesar de que no va a estar en movimiento el 100 % del tiempo, supondremos todo el conjunto al 100% y le daremos un 20% más de tiempo que es el porcentaje estimado necesario para cubrir sus necesidades.

$$\text{Tiempo} = 15 \times 100 / 80 = 18,75 \text{ min}; \quad (3.42)$$

$$\text{Tiempo} = 18,75 / 60 = 0,32 \text{ h} \quad (3.43)$$

$$I = 2,8 \text{ A.h} / 0,32 \text{ h} = 8,75 \text{ A corriente demandada para que las baterías duren 21,43 min} \quad (3.44)$$

$$\text{Tensión} = 144 \text{ W} / 8,75 \text{ A} = 16,45 \text{ V tensión necesaria para asegurar la durabilidad} \quad (3.45)$$

$$N^{\circ} \text{ baterías} = 16,45 \text{ V} / 1,2 \text{ V/batería} = 13,71 \text{ baterías; Total 14 baterías.} \quad (3.46)$$

Por tanto usaremos 14 baterías. Comprobación:

$$\text{Tensión suministrada por las baterías} = 14 \text{ baterías} \times 1,2 \text{ V/batería} = 16,8 \text{ V} \quad (3.47)$$

$$P = V \times I; I = P / V = 144 \text{ W} / 16,8 \text{ V} = 8,57 \text{ A corriente demandada por el conjunto} \quad (3.48)$$

$$2,8 \text{ A.h} / 8,57 \text{ A} = 0,33 \text{ h}; 0,33 \times 60 = 19,8 \text{ min duración teórica de las baterías} \quad (3.49)$$

Aplicando el coeficiente de seguridad del 20%, es decir, que el tiempo real que van a durar las baterías es un 80% del calculado teóricamente, se obtiene:

$$\text{Tiempo de descarga total} = 19,8 \text{ min} \times 0,80 = 15,84 \text{ min} \quad (3.50)$$

Peso de las baterías

$$\text{Peso/batería} = 31 \text{ g}$$

$$\text{Peso total} = 31 \times 14 = 434 \text{ g Peso total de las 14 baterías} \quad (3.51)$$

En función de lo expuesto en líneas anteriores, será necesarias 14 baterías en serie, tipo AA de 2800 mA.h y 1,2 V de Ni/MH para la alimentación total de la base del robot, con un peso total de 434g.



Las baterías de Ni/MH han sido seleccionadas por ser nula su peligrosidad y contaminación del medio ambiente además de por ser mas económicas que las baterías de Li-Po.



CAPÍTULO 4

4. PROGRAMACIÓN

En el presente capítulo se describen mediante diagramas de flujo los algoritmos creados para controlar los movimientos asignados al robot. Mediante estos algoritmos de control se pretende comprobar que el robot puede desplazarse en línea recta, desde un punto cualquiera a otro punto cualquiera, sea cual sea su orientación en el plano cartesiano sin necesidad de girar. También se comprueba que puede girar sobre sí mismo en cualquier sentido [1].

Debido a que el movimiento deseado es un movimiento omnidireccional, los motores están colocados a 45° respecto de los ejes de coordenadas y se usan ruedas omnidireccionales, el desplazamiento de un punto a otro se dependerá del sentido de giro y la velocidad de cada uno de 4 motores. Por tanto bastará con controlar la velocidad y sentido de cada motor de manera independiente para conseguir el desplazamiento deseado a la velocidad deseada [7].

Como se ha tratado en capítulos anteriores, la placa empleada es la RCM5400W de Rabbit. El fabricante pone a disposición de los usuarios el entorno de desarrollo con las herramientas necesarias para editar el código fuente de los programas que se almacenarán en la memoria de microcontrolador. También proporciona el compilador que genera el código máquina a partir de fuentes en lenguaje C. Estos, junto con un conjunto de librerías proporcionadas, son los elementos que se han utilizado como plataforma de desarrollo.

El robot se desplaza utilizando algoritmos de control en los cuales se tiene en cuenta la temporización, no obstante, una vez implementado será la IA la que controle directamente el robot por medio de la comunicación Wi-Fi.

El programa consiste en hacer que el robot se mueva en distintas direcciones en el plano cartesiano para comprobar el perfecto funcionamiento de los componentes del mismo, así como comprobar la posibilidad de movimiento en cualquier dirección y sentido.

El robot se moverá a lo largo de los ejes X e Y en ambos sentidos, a continuación lo hará a lo largo de las diagonales en ambos sentidos y finalmente rotará sobre su eje Z en ambos sentidos.

La descripción del movimiento del robot se ha tratado en el capítulo 2 en el Modelo cinemático omnidireccional.

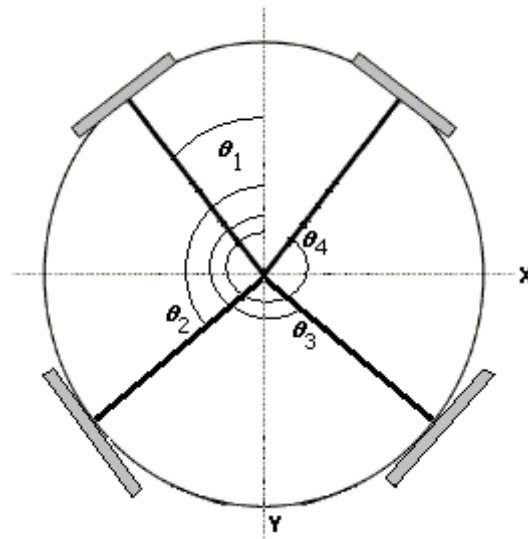


Figura 2.15 Robot omnidireccional en el plano cartesiano

- Numeración de los motores

La numeración de los motores se realiza en sentido antihorario, comenzando desde el frente del robot.

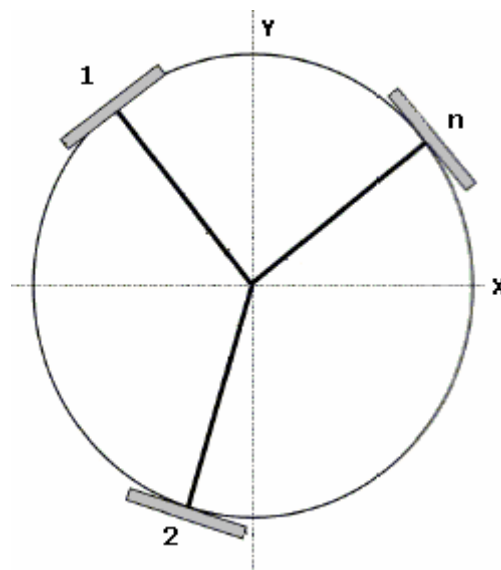


Figura 2.9 Numeración de motores

El giro y la velocidad de los motores, provocan el desplazamiento del robot.

Para poder comprender el programa hay que situarse en el centro de los ejes, por tanto el giro positivo del motor equivaldrá al giro a la izquierda y el giro negativo del motor equivaldrá al giro a la derecha [5].

Si por ejemplo queremos que el robot de 4 ruedas se desplace a lo largo de eje X en sentido descendente, moveremos todos los motores a la misma velocidad, pero el motor 1 girará a la izquierda, el motor 2 girará a la derecha, el 3 girará a la derecha y el 4 girará a la izquierda.

- Posición de partida

La posición de partida será la siguiente:

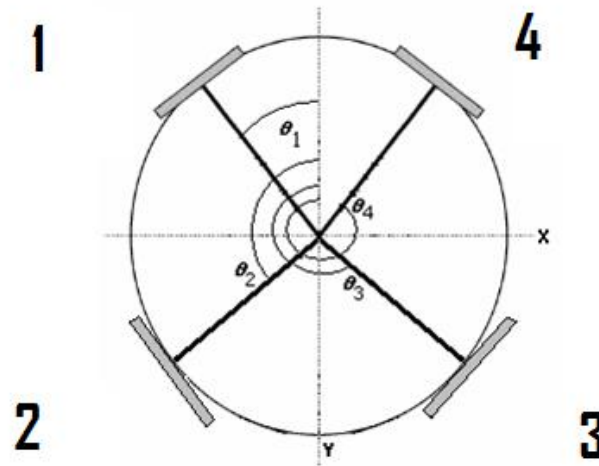
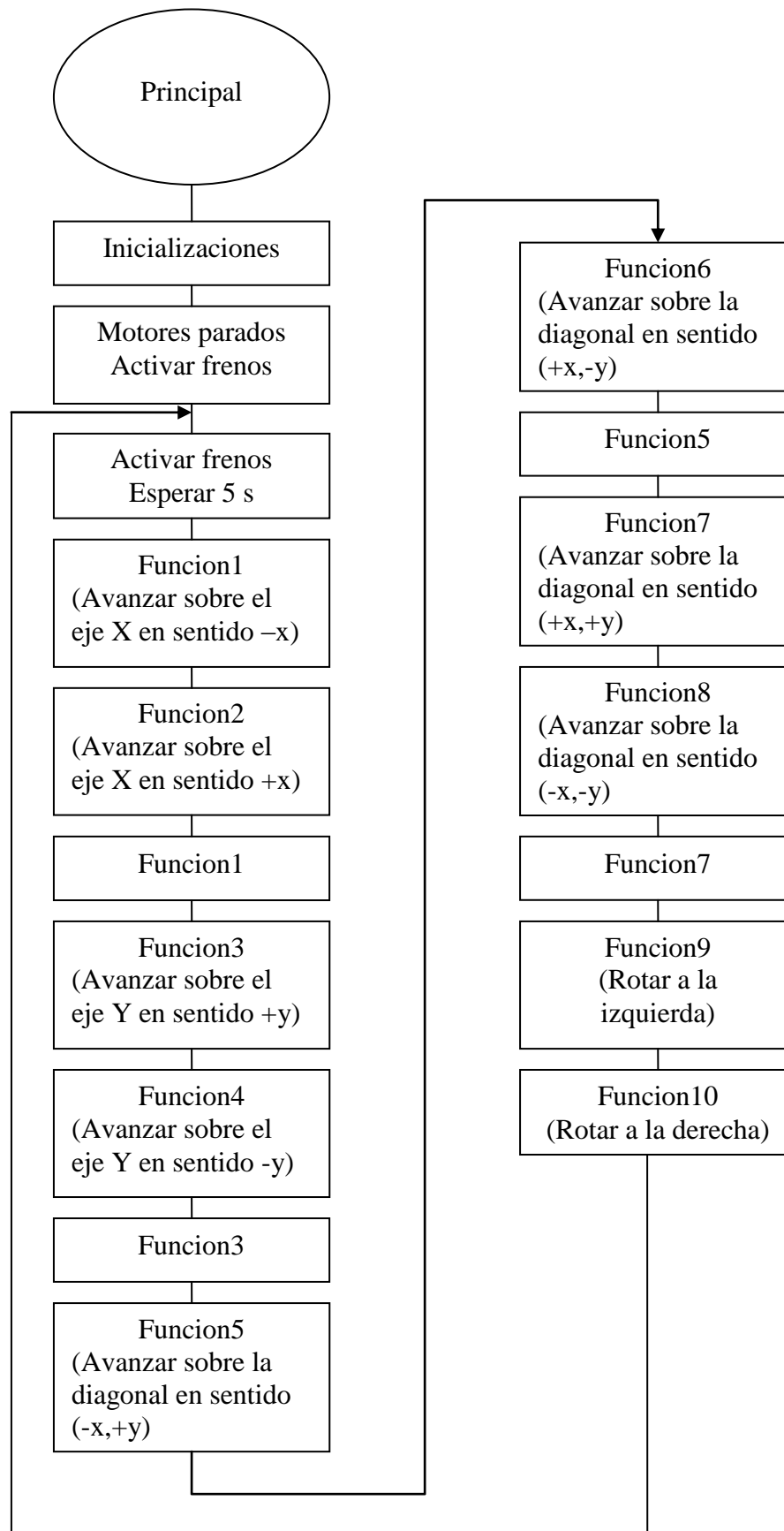


Figura 4.1 Posición inicial

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

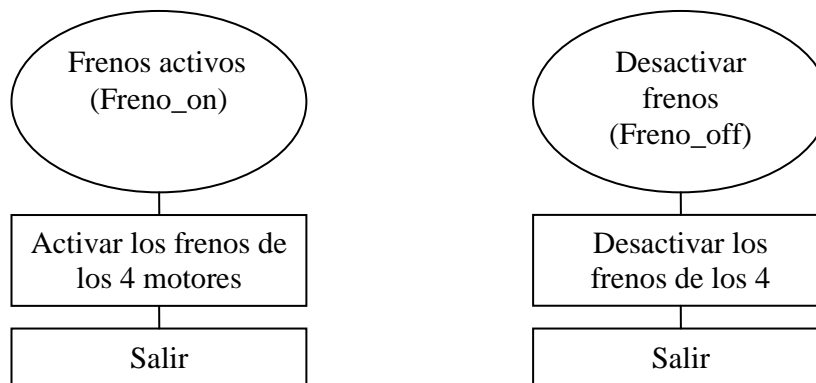




La secuencia del programa principal es la siguiente:

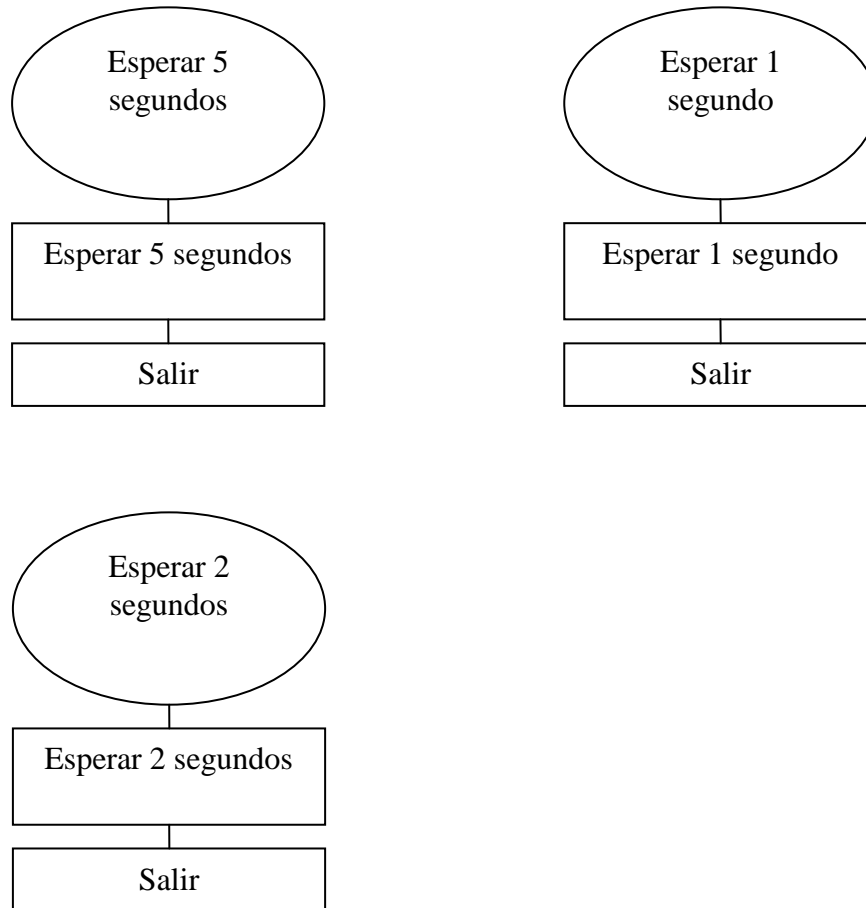
- 1.- Inicialización de las variables.
 - 2.- Se aplica una velocidad de 0 m/s en los motores y se activan los frenos para garantizar que el robot este completamente estático.
 - 3.- Se activan los frenos y se esperan 5 segundos antes de comenzar el movimiento, de esta manera se podrá observar el ciclo del movimiento del robot con más detalle.
 - 4.- Mediante las subrutinas función 1 y 2, el robot se desplaza en línea recta desde el origen de coordenadas, sin girar, a lo largo del eje X, en ambos sentidos, volviendo finalmente al punto de partida.
 - 5.- Un vez completadas las subrutinas función 1 y 2, se desarrollan las subrutinas función 3 y 4, en la que el robot se desplaza en línea recta a lo largo del eje Y en sentido, ascendente y descendente, partiendo de un punto y volviendo finalmente al mismo.
 - 6.- Completadas las subrutinas anteriores, el robot se desplaza a lo largo de las diagonales, nuevamente sin girar y mediante un movimiento rectilíneo. En primer lugar, mediante las subrutinas función 5 y 6, se desplaza a lo largo de la diagonal de los cuadrantes 2 y 4 partiendo del origen y volviendo al mismo. Mediante las subrutinas 7 y 8 se desplaza por la diagonal del los cuadrantes 1 y 3, nuevamente partiendo del punto de origen y regresando al mismo.
- Mediante las anteriores secuencias se comprueba que el robot es capaz de desplazarse en cualquier dirección y sentido en línea recta, sin necesidad de girar para orientarse y sin necesidad de trazar una curva para desplazarse de un punto a otro, sea cual sea la orientación inicial del robot.
- 7.- Tras las subrutinas anteriores, entra en las subrutinas función 9 y 10, en las cuales rotará sobre su eje Z en sentido antihorario y horario respectivamente. De esta manera se podrá observar la posibilidad de giro del robot.

4.2 ALGORITMOS DE ACTIVACION/DESACTIVACION DE LOS FRENOS DE LOS MOTORES.



Para poder garantizar que el robot permanece estático se utiliza la subrutina Frenos activos que se activa cuando se hace la llamada de activar frenos, de esta manera se consigue que los 4 motores queden completamente parados. Para que los frenos dejen de actuar se hace la llamada a la subrutina Desactivar frenos, la cual libera los motores permitiendo su giro.

4.3 ALGORITMOS DE TIEMPOS DE ESPERA.

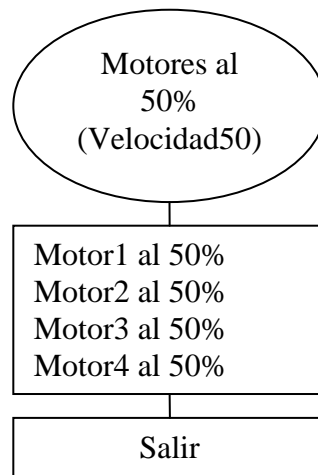


Al final del ciclo completo del programa principal el robot permanece estático durante 5 segundos. Para poder apreciar esta parada se utiliza la subrutina de Esperar 5 segundos.

En los desplazamientos lineales y las rotaciones, los tiempos serán de 1 y 2 segundos, durante los cuales el robot se desplazará o rotará según corresponda, para que el observador pueda apreciar suficientemente el movimiento. Con este propósito se desarrollan las subrutinas de Esperar 1 segundo y Esperar 2 segundos.

4.4 ALGORITMOS DE VELOCIDADES.

4.4.1 SUBROUTINA MOTORES AL 50%.

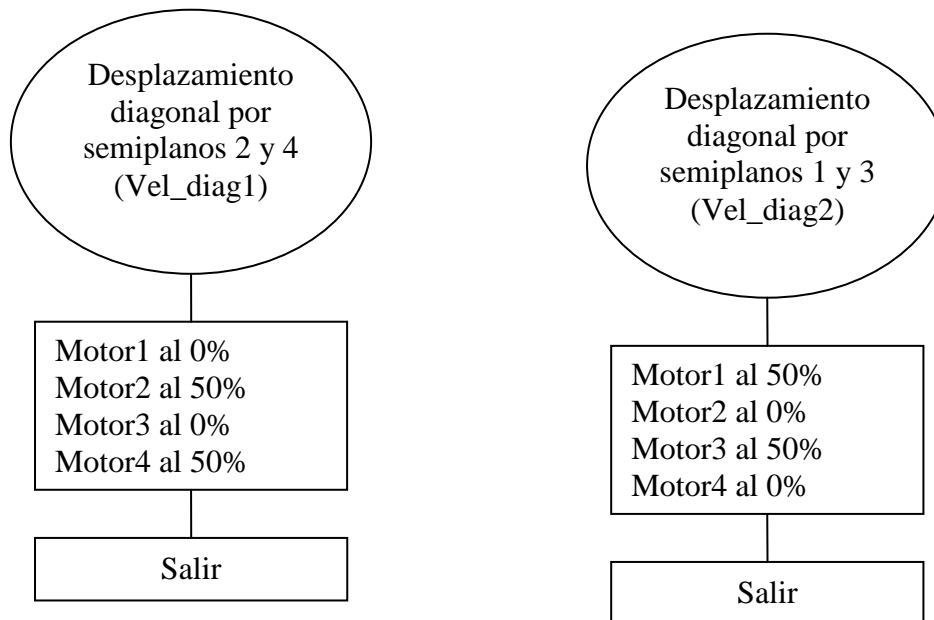


Este algoritmo se usa en los desplazamientos según los ejes X e Y (funciones 1, 2, 3 y 4) y también en las rotaciones (funciones 9 y 10). Todos los motores giran a la misma velocidad, en este caso el 50% de la velocidad máxima, es decir giran a unas 500 rpm lo que provoca un desplazamiento aproximado de 1,25 m/s en línea recta.

Se podría haber elegido cualquier otra velocidad, pero debido a que el robot puede alcanzar una velocidad punta de 2,5 m/s y el objetivo es poder comprobar el desplazamiento del mismo, la velocidad lineal de 1,25 m/s es suficiente para la correcta observación.

La subrutina se ejecuta cuando se efectúa la llamada de Acelerar motores.

4.4.2 SUBROUTINAS DE DESPLAZAMIENTO POR LAS DIAGONALES.

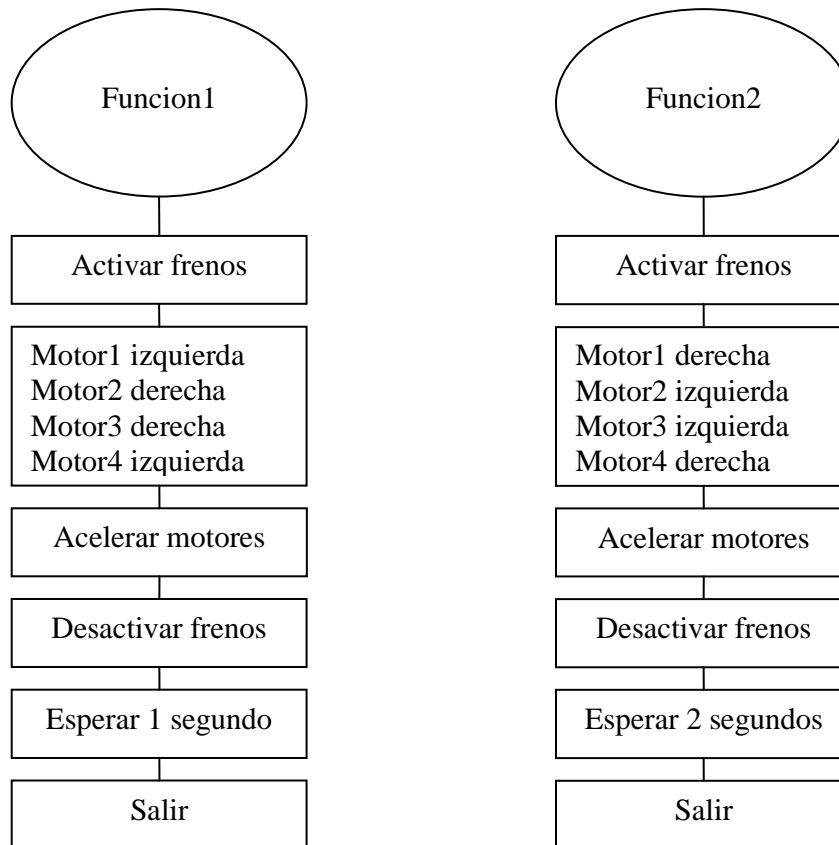


Teniendo en cuenta la posición inicial del robot respecto de los ejes cartesianos, y que los motores están colocados a 45° respecto de los ejes X e Y, para poder avanzar por las diagonales se tendrán que activar sólo dos motores, permaneciendo parados los otros dos.

La subrutina desplazamiento diagonal por semiplanos 2 y 4 es utilizada en las funciones 5 y 6, mientras que la de Desplazamiento diagonal por semiplanos 1 y 3 es utilizada por las funciones 7 y 8.

La subrutina correspondiente se inicializa al efectuar la llamada acelerar motores.

4.5 ALGORITMOS DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN EL EJE X.



Para proporcionar el movimiento sobre el eje X se usarán las subrutinas función 1 y 2, cuya secuencia es la siguiente:

- 1.- Se para el robot.
- 2.- Los motores 1 y 4 giran en un sentido y el 2 y 3 en el contrario.
- 3.- Se impone una velocidad del 50% de la máxima en todos los motores y se desactivan los frenos, con lo que el robot se desplaza según el eje X en sentido descendente si se trata de la subrutina Función 1 o ascendente si se trata de la subrutina Función 2.
- 4.- el robot se desplaza durante el tiempo establecido de 1 ó 2 segundos según corresponda y se vuelve a la función principal.

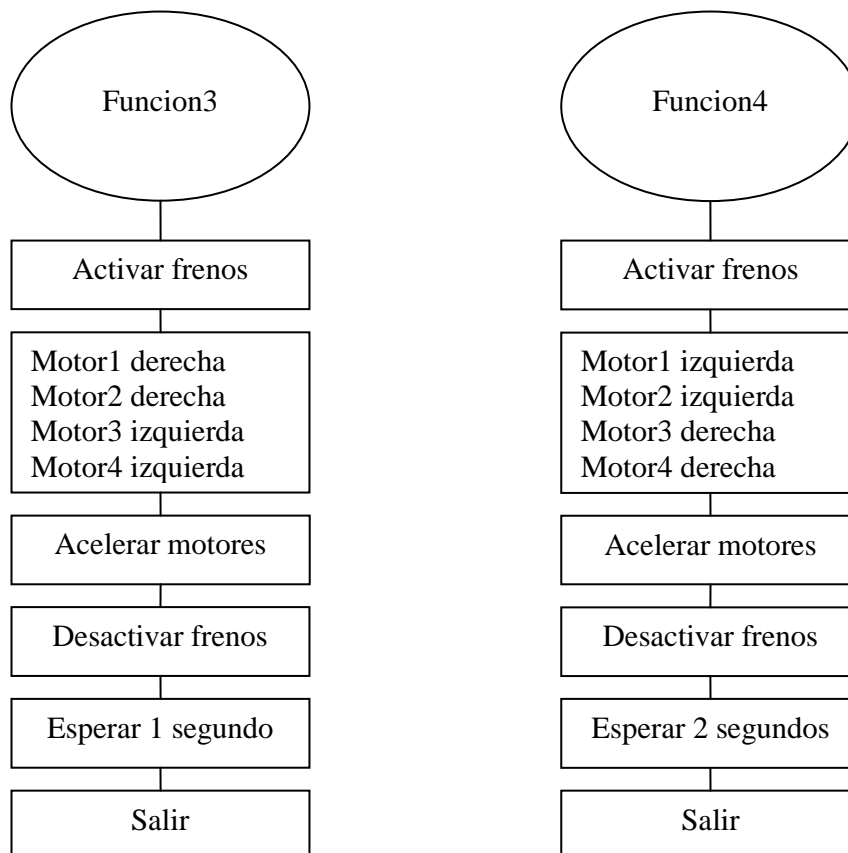
Debido a la posición inicial del robot, si los motores 1 y 3 giran en sentidos contrarios y a la misma velocidad, provocan dos fuerzas con el mismo sentido y de la misma intensidad con líneas de acción paralelas. La resultante de ambas fuerzas tendrá su línea de acción paralela a ambas, su magnitud será la suma de ambas magnitudes y tendrá el mismo sentido. Al ser fuerzas paralelas, del mismo sentido e intensidad, el punto de aplicación de la resultante estará situado en el punto medio de la línea que une perpendicularmente ambas fuerzas que en éste caso coincide con el centro del robot. Esta fuerza se denominará R1.

Lo mismo ocurre con los motores 2 y 4, que generan otra fuerza resultante que se llamará R2.

R1 Y R2 serán concurrentes en el centro del robot, sus direcciones serán perpendiculares entre sí y formarán 45° cada una respecto del eje X, ambas tendrán la misma magnitud, de modo su resultante tendrá como línea de acción el eje X.

Por lo anteriormente expuesto, el desplazamiento debido a las subrutinas función 1 y 2 es un desplazamiento lineal a lo largo de eje X.

4.6 ALGORITMOS DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN EL EJE Y.

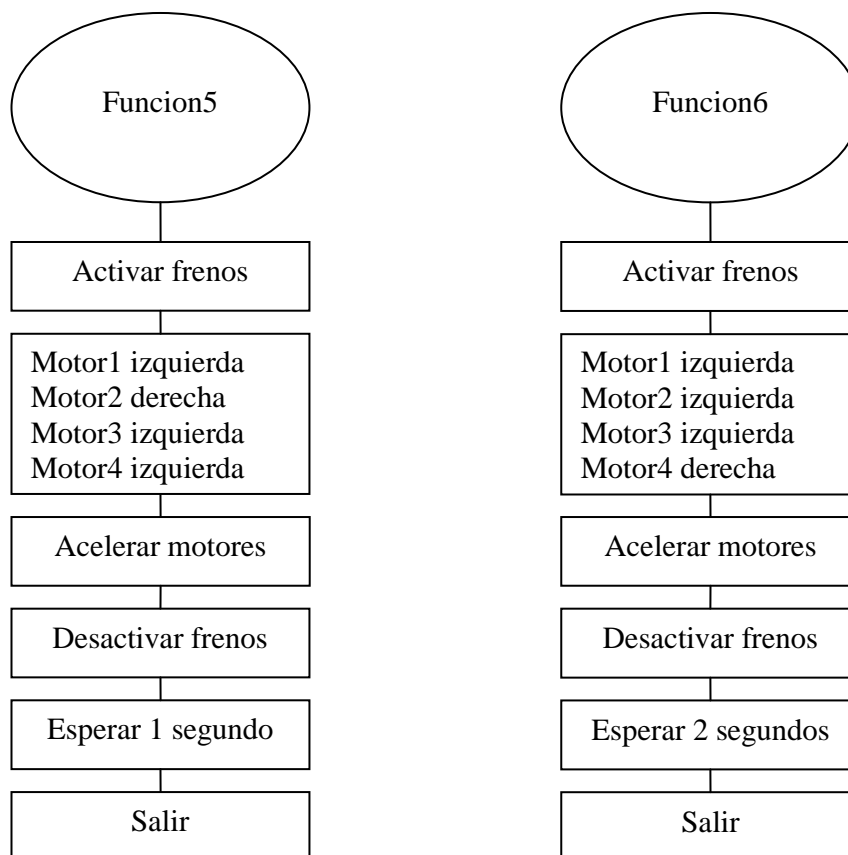


Para proporcionar el movimiento sobre el eje Y se usarán las subrutinas función 3 y 4, cuya secuencia es la siguiente:

- 1.- Se para el robot.
- 2.- Los motores 1 y 2 giran en un sentido y el 3 y 4 en el contrario.
- 3.- Se impone una velocidad del 50% de la máxima en todos los motores y se desactivan los frenos, con lo que el robot se desplaza según el eje Y en sentido ascendente si se trata de la subrutina Función 3 o ascendente si se trata de la subrutina Función 4.
- 4.- el robot se desplaza durante el tiempo establecido de 1 ó 2 segundos según corresponda y se vuelve a la función principal.

La explicación a éste desplazamiento es análoga a la del desplazamiento según el eje X.

4.7 ALGORITMOS DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN LA DIAGONAL DE LOS CUADRANTES 2 Y 4.





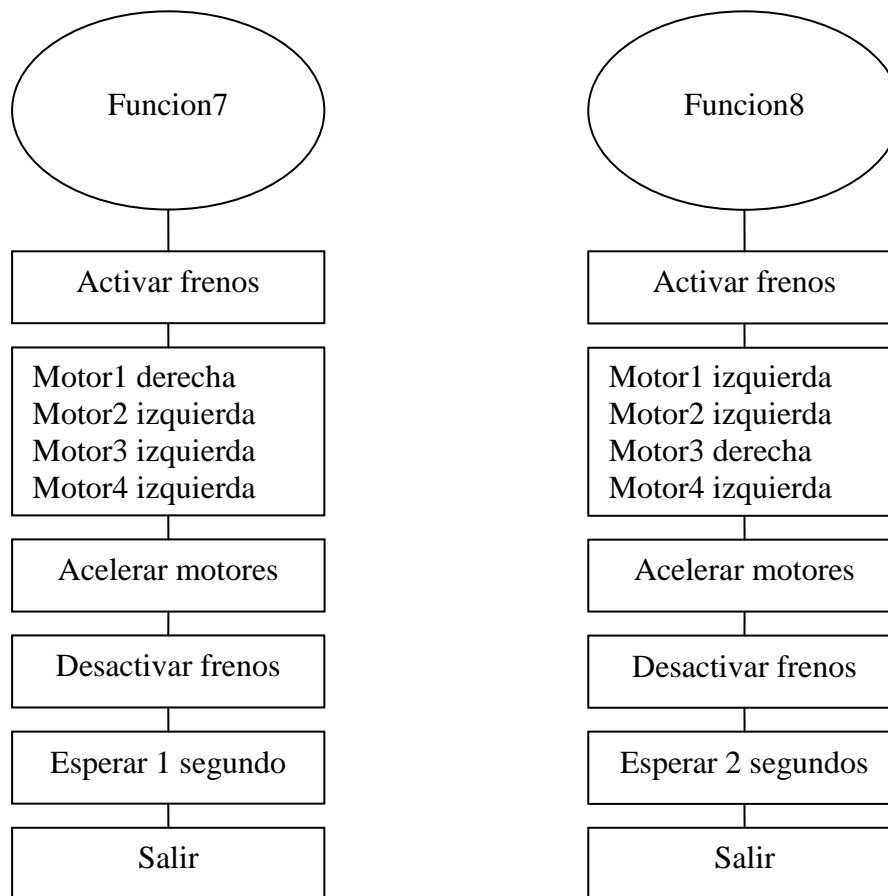
Las subrutinas función 5 y 6 provocan el desplazamiento del robot a lo largo de la diagonal de los semiplanos 2 y 4. La función 5 provoca un movimiento ascendente, mientras que la función 6 lo provoca descendente.

La secuencia es la siguiente:

- 1.- Se para el robot.
- 2.- Los motores 2 y 4 giran en sentidos contrarios, mientras que los motores 1 y 3 no varían.
- 3.- Se impone una velocidad del 50% de la máxima en los motores 2 y 4, y del 0% en los otros dos, se desactivan los frenos, con lo que el robot se desplace según la diagonal.
- 4.- el robot se desplace durante el tiempo establecido de 1 ó 2 segundos según corresponda y se vuelve a la función principal.

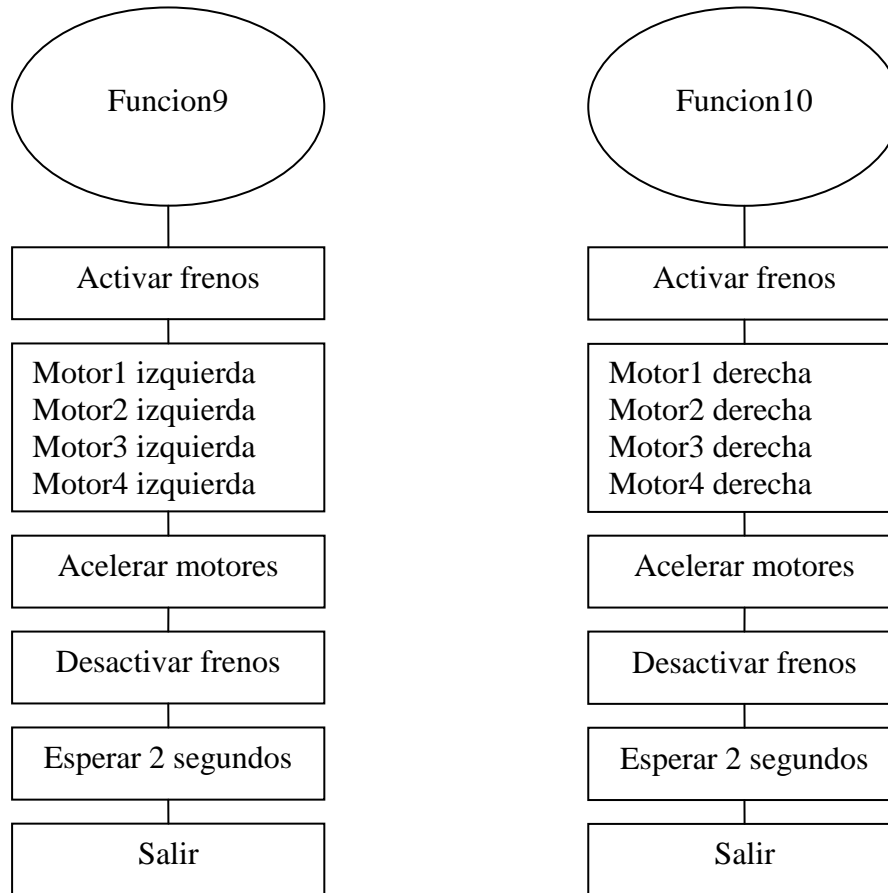
En ambos casos los motores 1 y 3 estarán parados, por lo que se les da un sentido de giro cualquiera, mientras que los motores 2 y 4 serán los únicos que ejerzan tracción. Debido a la posición inicial del robot, si el motor 2 gira en un sentido y el 4 en el sentido contrario, ambos a la misma velocidad, se generan dos fuerzas con el mismo sentido y de la misma intensidad con líneas de acción paralelas. La resultante de ambas fuerzas tendrá su línea de acción paralela a ambas, su magnitud será la suma de ambas magnitudes y tendrá el mismo sentido. Al ser fuerzas paralelas, del mismo sentido e intensidad, el punto de aplicación de la resultante estará situado en el punto medio de la línea que une perpendicularmente ambas fuerzas que en éste caso coincide con el centro del robot. Esta resultante será paralela a la diagonal de los semiplanos 2 y 4 y su sentido será ascendente o descendente según el sentido de giro de los motores 2 y 4, por lo que provocará que el robot se desplace a lo largo de dicho eje.

4.8 ALGORITMOS DE DESPLAZAMIENTO SEGÚN LA DIAGONAL DE LOS CUADRANTES 1 Y 3.



La secuencia y explicación a éste desplazamiento es análoga a la del desplazamiento según la diagonal de los cuadrantes 2 y 4. La diferencia será que en este caso los motores 1 y 3 ejercen la tracción mientras que los motores 2 y 4 están parados, con lo que el desplazamiento se produce a lo largo de la diagonal de los semiplanos 1 y 3.

4.9 ALGORITMOS DE ROTACIÓN SOBRE EL EJE Z



La secuencia es la siguiente:

- 1.- Se para el robot.
- 2.- Todos los motores giran en el mismo sentido.
- 3.- Se impone una velocidad del 50% de la máxima en todos los motores, se desactivan los frenos, con lo que el robot gira sobre su eje Z.
- 4.- el robot gira durante 2 segundos y vuelve a la función principal.

En este caso cada motor provocará un fuerza tangencial en el punto de unión de la rueda con el suelo, debido a que todas las ruedas son iguales, están a la misma distancia de centro de robot, y todos los motores giran a la misma velocidad y en el mismo sentido, se provocarán cuatro momentos iguales que poseerán el mismo eje de giro y el mismo sentido, por lo que se pueden sumar formado un momento único que provoca el giro del robot sobre su propio eje Z.



CAPÍTULO 5

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Programación del comportamiento del robot humanoide Robonova para el concurso Ceabot 07. Grandal Revuelta, Conrado.
- [2] Diseño y simulación de un robot asistente para personas invidentes. Berrio Martínez, Paula.
- [3] Modelos de cooperación de agentes en el entorno de la Robocup mediante Erlang. Carrascal Hinojo, José Manuel.
- [4] Robots personales y asistenciales. Salís Sánchez-Caballero, Miguel Ángel.
- [5] Análisis mecánico del robot bípedo ‘Pasibot’. Corral Abad, Eduardo.
- [6] Desarrollo del sistema de alimentación del robot humanoide RH-2. Aragón Miguel, Sergio.
- [7] Diseño e implementación de un sistema de localización para un microrobot. Romero Muñoz, María.
- [8] Diseño de la arquitectura hardware del robot humanoide RH-2. Cano Sánchez, Andrés.
- [9] Sistema de control de tracción y posicionamiento de un microrobot: Eurobot 2008. Apéstigue Oreja, Roberto.
- [10] Diseño electrónico de un microrobot “Eurobot 2008”. Albillo Arribas, José Ignacio.
- [11] Análisis cinemático y dinámico de robot Pasibot. Martínez Alberto, David.



CAPÍTULO 6

6. ANEXOS



ANEXO I. CATALOGOS

En el presente anexo se presentan los catálogos de los diferentes componentes usados en el capítulo 3 para la construcción del robot.

Placa RabbitCore RCM5400W



RabbitCore RCM5400W

C-Programmable Wi-Fi Core Module

OEM User's Manual

019-0169 • 080630-A



4. HARDWARE REFERENCE

Chapter 4 describes the hardware components and principal hardware subsystems of the RCM5400W. Appendix A, “RCM5400W Specifications,” provides complete physical and electrical specifications.

Figure 6 shows the Rabbit-based subsystems designed into the RCM5400W.

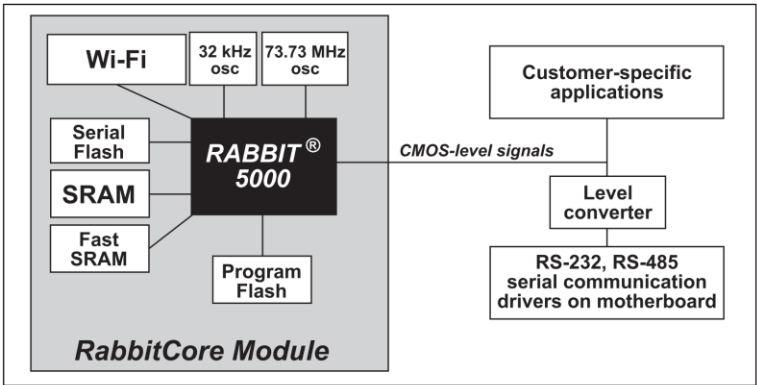


Figure 6. RCM5400W Subsystems

The 73.73 MHz frequency shown for the RCM5400W is generated using a 36.864 MHz crystal with the Rabbit 5000 clock doubler enabled.

4.4 Programming Cable

The programming cable is used to connect the programming port (header J2) of the RCM5400W to a PC USB COM port. The programming cable converts the voltage levels used by the PC USB port to the CMOS voltage levels used by the Rabbit 5000.

When the **PROG** connector on the programming cable is connected to the RCM5400W programming port, programs can be downloaded and debugged over the serial interface.

The **DIAG** connector of the programming cable may be used on header J2 of the RCM5400W with the RCM5400W operating in the Run Mode. This allows the programming port to be used as a regular serial port.

4.4.1 Changing Between Program Mode and Run Mode

The RCM5400W is automatically in Program Mode when the **PROG** connector on the programming cable is attached, and is automatically in Run Mode when no programming cable is attached. When the Rabbit 5000 is reset, the operating mode is determined by the status of the SMODE pins. When the programming cable's **PROG** connector is attached, the SMODE pins are pulled high, placing the Rabbit 5000 in the Program Mode. When the programming cable's **PROG** connector is not attached, the SMODE pins are pulled low, causing the Rabbit 5000 to operate in the Run Mode.

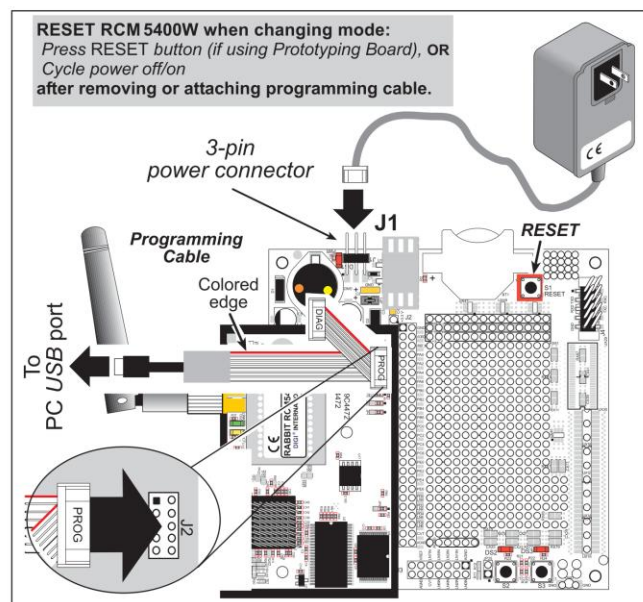


Figure 10. Switching Between Program Mode and Run Mode



A program “runs” in either mode, but can only be downloaded and debugged when the RCM5400W is in the Program Mode.

Refer to the *Rabbit 5000 Microprocessor User’s Manual* for more information on the programming port.

4.4.2 Standalone Operation of the RCM5400W

Once the RCM5400W has been programmed successfully, remove the programming cable from the programming connector and reset the RCM5400W. The RCM5400W may be reset by cycling the power off/on or by pressing the **RESET** button on the Prototyping Board. The RCM5400W module may now be removed from the Prototyping Board for end-use installation.

CAUTION: Power to the Prototyping Board or other boards should be disconnected when removing or installing your RCM5400W module to protect against inadvertent shorts across the pins or damage to the RCM5400W if the pins are not plugged in correctly. Do not reapply power until you have verified that the RCM5400W module is plugged in correctly.



4.5 Other Hardware

4.5.1 Clock Doubler

The RCM5400W takes advantage of the Rabbit 5000 microprocessor's internal clock doubler. A built-in clock doubler allows half-frequency crystals to be used to reduce radiated emissions. The 73.73 MHz frequency specified for the RCM5400W is generated using a 36.864 MHz crystal.

The clock doubler should not be disabled since Wi-Fi operations depend highly on CPU resources.

4.5.2 Spectrum Spreader

The Rabbit 5000 features a spectrum spreader, which helps to mitigate EMI problems. The spectrum spreader is on by default, but it may also be turned off or set to a stronger setting. The spectrum spreader settings may be changed through a simple configuration macro as shown below.

1. Select the "Defines" tab from the Dynamic C **Options > Project Options** menu.
2. Normal spreading is the default, and usually no entry is needed. If you need to specify normal spreading, add the line

```
ENABLE_SPREADER=1
```

For strong spreading, add the line

```
ENABLE_SPREADER=2
```

To disable the spectrum spreader, add the line

```
ENABLE_SPREADER=0
```

NOTE: The strong spectrum-spreading setting is not recommended since it may limit the maximum clock speed or the maximum baud rate. It is unlikely that the strong setting will be needed in a real application.

3. Click **OK** to save the macro. The spectrum spreader will now remain off whenever you are in the project file where you defined the macro.

NOTE: Refer to the *Rabbit 5000 Microprocessor User's Manual* for more information on the spectrum-spreading setting and the maximum clock speed.



APPENDIX A. RCM5400W SPECIFICATIONS

Appendix A provides the specifications for the RCM5400W.

A.1 Electrical and Mechanical Characteristics

Figure A-1 shows the mechanical dimensions for the RCM5400W.

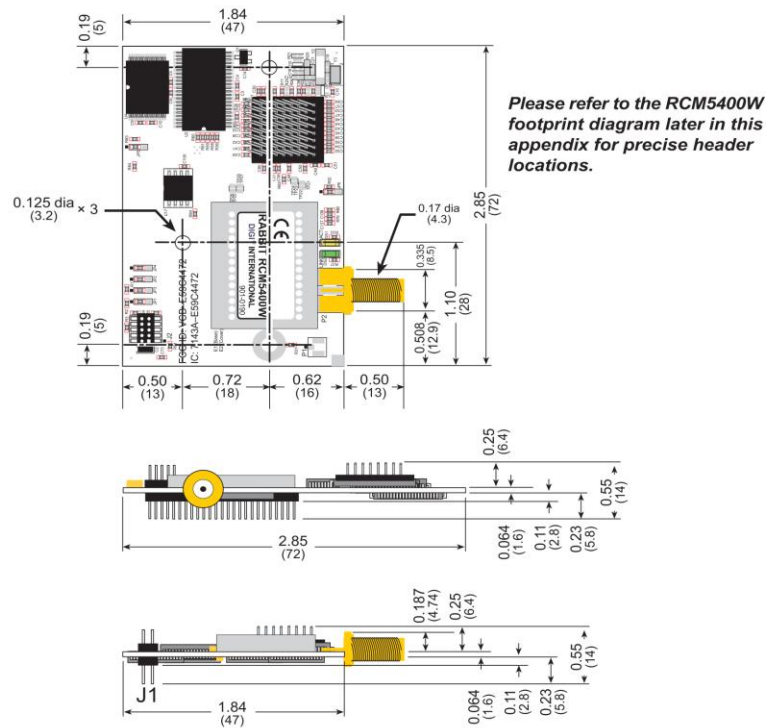


Figure A-1. RCM5400W Dimensions

NOTE: All measurements are in inches followed by millimeters enclosed in parentheses.
All dimensions have a manufacturing tolerance of ± 0.01 " (0.25 mm).

It is recommended that you allow for an “exclusion zone” of 0.04" (1 mm) around the RCM5400W in all directions when the RCM5400W is incorporated into an assembly that includes other printed circuit boards. An “exclusion zone” of 0.08" (2 mm) is recommended below the RCM5400W when the RCM5400W is plugged into another assembly. Figure A-2 shows this “exclusion zone.”

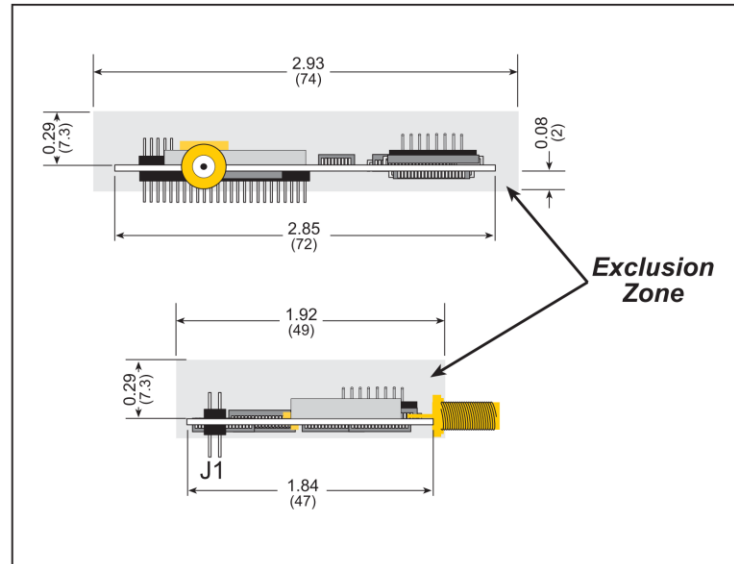


Figure A-2. RCM5400W “Exclusion Zone”

NOTE: There is an antenna associated with the RCM5400W RabbitCore modules. Do not use any RF-absorbing materials in these vicinities in order to realize the maximum range.

The RCM5400W modules were tested for heat dissipation over the specified operating temperature range, and normal heat dissipation by convection was found to be adequate. If you plan to use RCM5400W modules in a tightly enclosed space, additional forced-air cooling will likely be needed.

If you are planning to mount your RCM5400W directly in a panel-mounted enclosure, the RP-SMA antenna connector will extend outside the enclosure. Keep the thickness of the enclosure plus washer and lock nut to less than 0.2" (5 mm) to make sure that the antenna can be mounted securely in the RP-SMA antenna connector.

A.1.1 Antenna

The RCM5400W Development Kit includes a 2.4 GHz (+2 dB) dipole antenna whose dimensions are shown in Figure A-3.

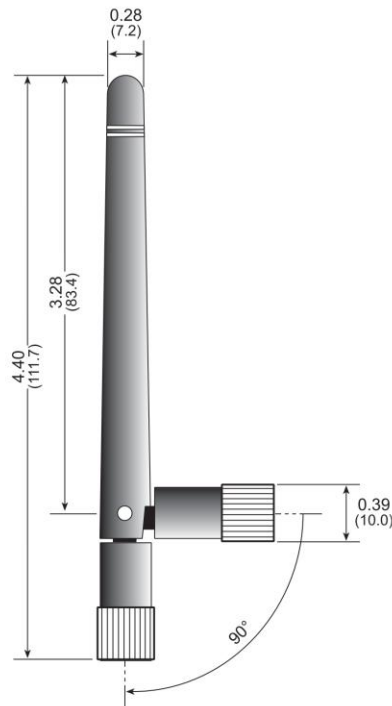


Figure A-3. RCM5400W Development Kit Dipole Antenna

NOTE: All measurements are in inches followed by millimeters enclosed in parentheses.
All dimensions have a manufacturing tolerance of ± 0.01 " (0.25 mm).

A.1.2 Headers

The RCM5400W uses a header at J1 for physical connection to other boards. J1 is a 2×25 SMT header with a 1.27 mm pin spacing. J2, the programming port, is a 2×5 header with a 1.27 mm pin spacing.

Figure A-4 shows the layout of another board for the RCM5400W to be plugged into. These reference design values are relative to one of the mounting holes.

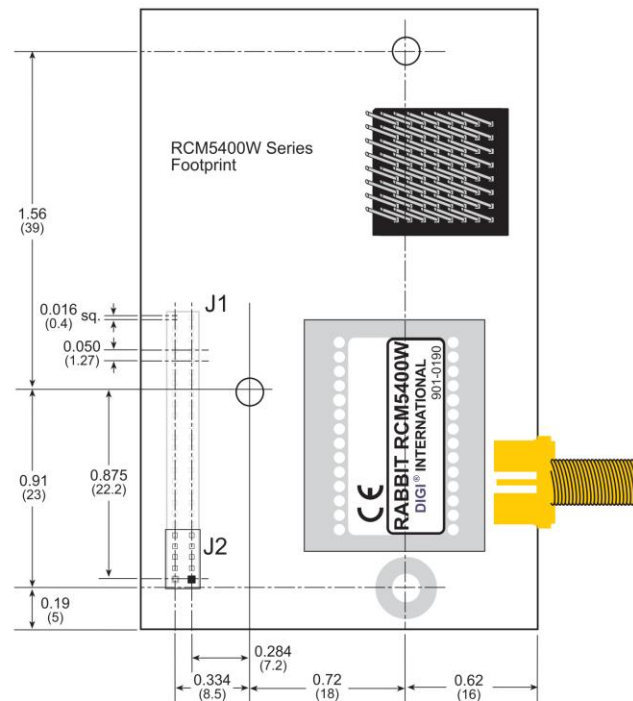


Figure A-4. User Board Footprint for RCM5400W



A.5 Jumper Configurations

Figure A-6 shows the header locations used to configure the various RCM5400W options via jumpers.

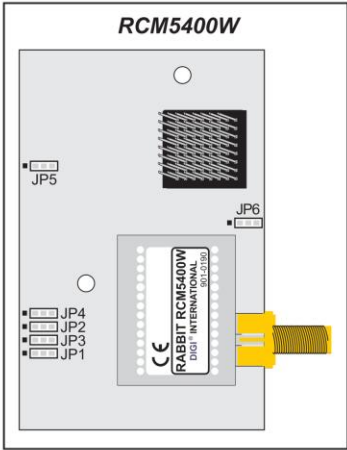


Figure A-6. Location of RCM5400W Configurable Positions

Table A-7 lists the configuration options.

Table A-7. RCM5400W Jumper Configurations

Header	Description	Pins Connected		Factory Default
JP1	PE6 or SMODE1 Output on J1 pin 38	1-2	PE6	×
		2-3	SMODE1	
JP2	PE5 or SMODE0 Output on J1 pin 37	1-2	PE5	×
		2-3	SMODE0	
JP3	PE7 or STATUS Output on J1 pin 39	1-2	PE7	×
		2-3	STATUS	
JP4	Reserved for future use.	1-2	PE0	×
		2-3	A20	

**Table A-7. RCM5400W Jumper Configurations (continued)**

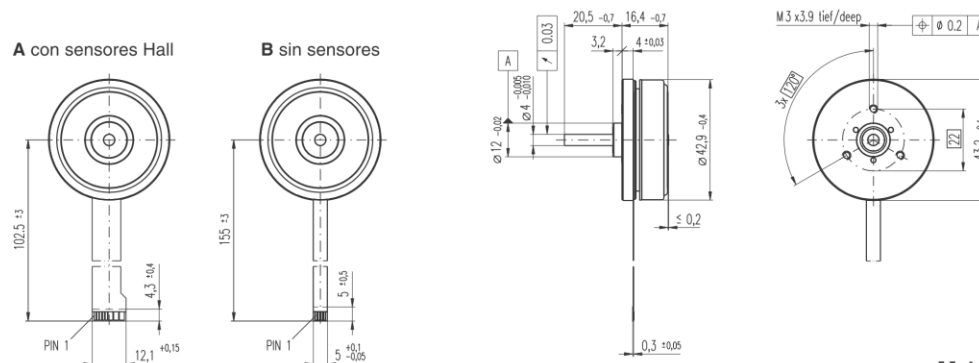
Header	Description	Pins Connected		Factory Default
JP5	Flash memory size.	1–2	≤ 1MB	×
		2–3	> 1MB	
JP6	Wi-Fi power supply control.	1–2	Control disabled—Wi-Fi power supply is always on	×
		2–3	Control enabled so that the Wi-Fi power supply is under microprocessor control	

NOTE: The jumper connections are made using 0 Ω surface-mounted resistors.

Motor MAXON EC 45 FLAT

EC 45 flat Ø45 mm, Conmutación electrónica (Brushless), 30 Vatios

maxon flat motor



M 1:2

Programa Stock
Programa Estándar
Programa Especial (previo encargo)

Números de Referencia

	A con sensores Hall	200142	339281	339282	
	B sin sensores	200189	339283	339284	
Datos del motor					
Valores a tensión nominal					
1 Tensión nominal	V	12.0	12.0	24.0	36.0
2 Velocidad en vacío	rpm	4370	4360	4370	4760
3 Corriente en vacío	mA	151	150	75.3	56.9
4 Velocidad nominal	rpm	2860	2820	2850	3210
5 Par nominal (máx. par permanente)	mNm	59.0	54.3	58.8	70.6
6 Corriente nominal (máx. corriente en continuo)	A	2.14	2.00	1.07	0.893
7 Par de arranque	mNm	255	219	253	380
8 Corriente de arranque	A	10.0	8.57	4.96	5.38
9 Máx. rendimiento	%	77	76	77	81
Características					
10 Resistencia en bornes fase-fase	Ω	1.20	1.40	4.84	6.70
11 Inductancia en bornes fase-fase	mH	0.560	0.560	2.24	4.29
12 Constante de par	mNm / A	25.5	25.5	51.0	70.6
13 Constante de velocidad	rpm / V	374	374	187	135
14 Relación velocidad / par	rpm / mNm	17.6	20.6	17.8	13.2
15 Constante de tiempo mecánica	ms	17.1	19.9	17.2	12.4
16 Inercia del rotor	gcm²	92.5	92.5	92.5	92.5

Especificaciones

Datos térmicos	
17 Resistencia térmica carcasa/ambiente	4.23 K / W
18 Resistencia térmica bobinado/carcasa	4.57 K / W
19 Constante de tiempo térmica del bobinado	13.2 s
20 Constante de tiempo térmica del motor	196 s
21 Rango de funcionamiento	-40 ... +100°C
22 Máx. temperatura del bobinado	+125°C
Datos mecánicos (rodamiento a bolas pretensado)	
23 Máx. velocidad permitida	10000 rpm
24 Juego axial	< 5.0 N 0 mm
25 Juego radial	> 5.0 N typ. 1.0 mm pretensado
26 Carga axial máx. (dinámica)	4.8 N
27 Máx. fuerza de empuje a presión (estática)	50 N
28 Carga radial máx. a 7.5 mm de la brida	1000 N 5.5 N

Otras especificaciones

29 Número de pares de polos	8
30 Número de fases	3
31 Peso del motor	88 g

Los datos de la tabla son valores nominales.

Conexiones	con sensores Hall	sin sensores
Pin 1	4.5 ... 18 VDC	Bobinado 1 motor
Pin 2	Sensor Hall 3*	Bobinado 2 motor
Pin 3	Sensor Hall 1*	Bobinado 3 motor
Pin 4	Sensor Hall 2*	— punto neutro
Pin 5	GND	
Pin 6	Bobinado 3 motor	
Pin 7	Bobinado 2 motor	
Pin 8	Bobinado 1 motor	

*Interna pull-up (7 ... 13 kΩ) a Pin 1

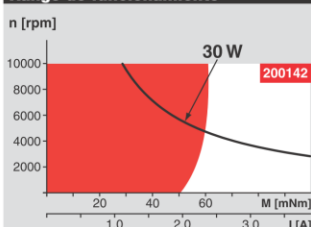
Esquema de conexión para los sensores Hall v. p. 29

Adaptador	N° de Referencia	N° de Referencia
ver pág. 299	220300	220310
Conector	N° de artículo	N° de artículo
AMP	1-487951-1	487951-4
MOLEX	52207-1190	52207-0490
MOLEX	52089-1110	52089-0410

Terminal para sensores Hall:
FPC, 11-pol, paso 1.0 mm, top contact style

202 maxon EC motor

Rango de funcionamiento



Leyenda

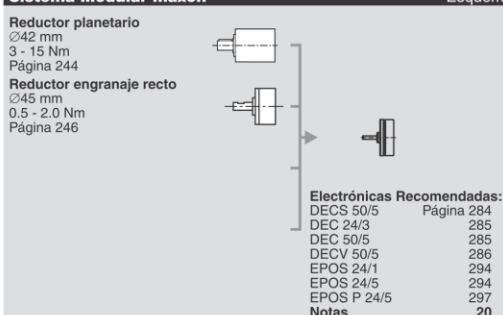
Funcionamiento continuo
Teniendo en cuenta los valores de resistencia térmica antes mencionados (líneas 17 y 18). El rotor alcanzará la máxima temperatura durante funcionamiento continuo a 25°C de temperatura ambiente = límite térmico.

Funcionamiento intermitente
El motor puede ser sobrecargado durante cortos períodos (cíclicamente).

— Potencia nominal asignada

Sistema Modular maxon

Esquema general en página 16 - 21



Edición de octubre de 2008 / Sujeto a modificaciones

Driver LMD18200T



April 2005

LMD18200 3A, 55V H-Bridge

General Description

The LMD18200 is a 3A H-Bridge designed for motion control applications. The device is built using a multi-technology process which combines bipolar and CMOS control circuitry with DMOS power devices on the same monolithic structure. Ideal for driving DC and stepper motors; the LMD18200 accommodates peak output currents up to 6A. An innovative circuit which facilitates low-loss sensing of the output current has been implemented.

Features

- Delivers up to 3A continuous output
- Operates at supply voltages up to 55V
- Low $R_{DS(ON)}$ typically 0.3 Ω per switch
- TTL and CMOS compatible inputs

- No "shoot-through" current
- Thermal warning flag output at 145°C
- Thermal shutdown (outputs off) at 170°C
- Internal clamp diodes
- Shorted load protection
- Internal charge pump with external bootstrap capability

Applications

- DC and stepper motor drives
- Position and velocity servomechanisms
- Factory automation robots
- Numerically controlled machinery
- Computer printers and plotters

Functional Diagram

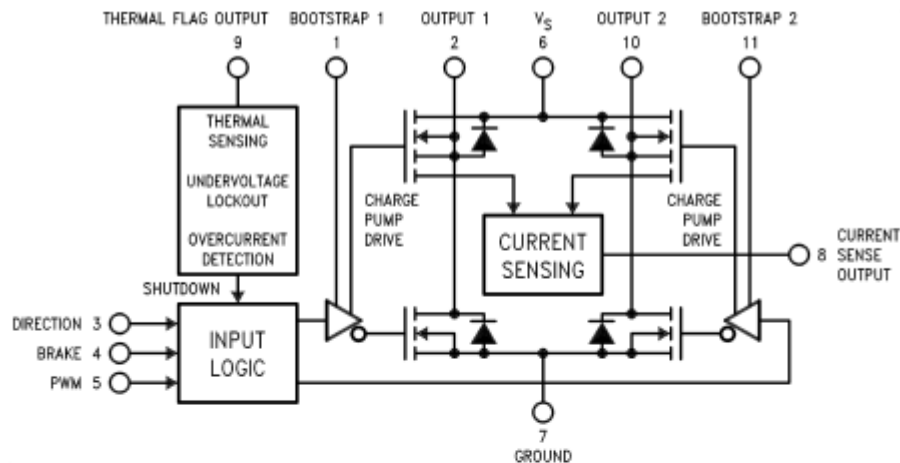
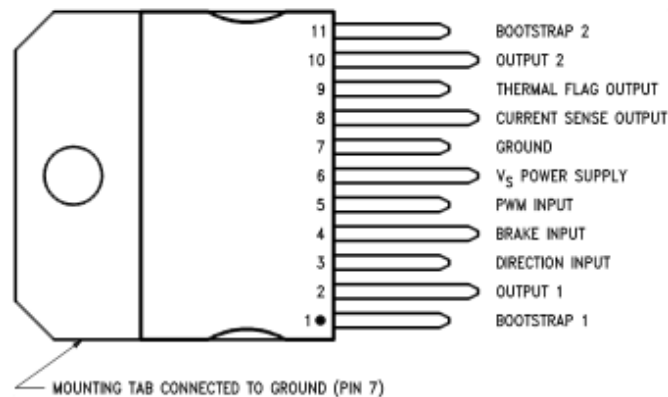


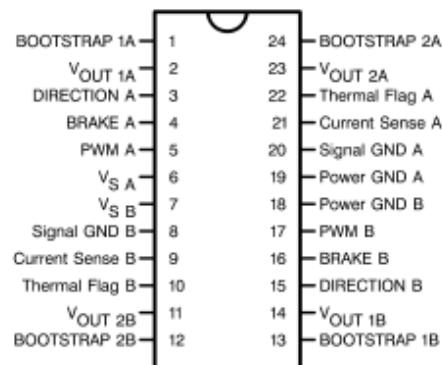
FIGURE 1. Functional Block Diagram of LMD18200

Connection Diagrams and Ordering Information



11-Lead TO-220 Package
Top View
Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B

01056932



24-Lead Dual-In-Line Package
Top View
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
See NS Package DA24B

01056525

**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Total Supply Voltage (V_S , Pin 6)	60V
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	$V_{OUT} + 16V$
Peak Output Current (200 ms)	6A
Continuous Output Current (Note 2)	3A
Power Dissipation (Note 3)	25W

Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$, Free Air)	3W
Junction Temperature, $T_{J(max)}$	150°C
ESD Susceptibility (Note 4)	1500V
Storage Temperature, T_{STG}	-40°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

Operating Ratings(Note 1)

Junction Temperature, T_J	-40°C to +125°C
V_S Supply Voltage	+12V to +55V

Electrical Characteristics (Note 5)

The following specifications apply for $V_S = 42V$, unless otherwise specified. **Boldface** limits apply over the entire operating temperature range, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, all other limits are for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
$R_{DS(ON)}$	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/ 0.6	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		-0.1 0.8	V (min) V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	$V_{IN} = -0.1V$, Pins = 3, 4, 5		-10	μA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		2 12	V (min) V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	$V_{IN} = 12V$, Pins = 3, 4, 5		10	μA (max)
	Current Sense Output	$I_{OUT} = 1A$ (Note 8)	377	325/ 300 425/ 450	μA (min) μA (max)
	Current Sense Linearity	$1A \leq I_{OUT} \leq 3A$ (Note 7)	± 6	± 9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9 11	V (min) V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 $\leq 0.8V$, $I_L = 2\text{ mA}$	145		$^\circ\text{C}$
$V_F(ON)$	Flag Output Saturation Voltage	$T_J = T_{JW}$, $I_L = 2\text{ mA}$	0.15		V
$I_F(OFF)$	Flag Output Leakage	$V_F = 12V$	0.2	10	μA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		$^\circ\text{C}$
I_S	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Don}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	300 300		ns ns
t_{on}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	100 80		ns ns
t_{Doff}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	200 200		ns ns
t_{off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF Sourcing Outputs, $I_{OUT} = 3A$ Sinking Outputs, $I_{OUT} = 3A$	75 70		ns ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		μs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		μs

Electrical Characteristics Notes

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

Note 2: See Application Information for details regarding current limiting.

Note 3: The maximum power dissipation must be derated at elevated temperatures and is a function of $T_{J(max)}$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any temperature is $P_{D(max)} = (T_{J(max)} - T_A)/\theta_{JA}$, or the number given in the Absolute Ratings, whichever is lower. The typical thermal resistance from junction to case (θ_{JC}) is 1.0°C/W and from junction to ambient (θ_{JA}) is 30°C/W . For guaranteed operation $T_{J(max)} = 125^{\circ}\text{C}$.

Note 4: Human-body model, 100 pF discharged through a $1.5\text{ k}\Omega$ resistor. Except Bootstrap pins (pins 1 and 11) which are protected to 1000V of ESD.

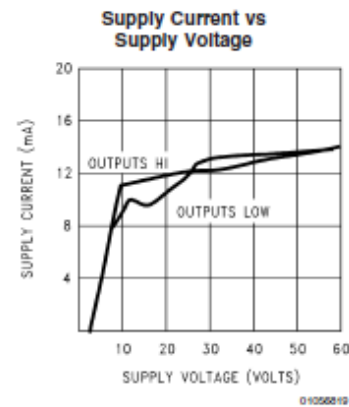
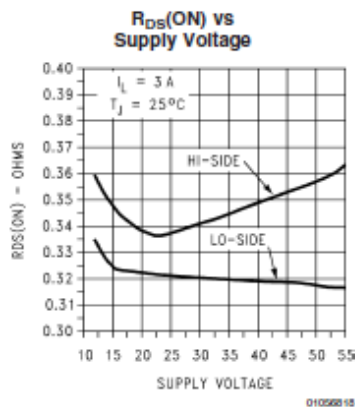
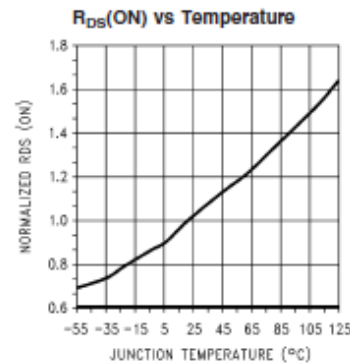
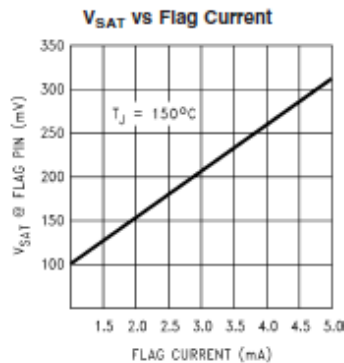
Note 5: All limits are 100% production tested at 25°C . Temperature extreme limits are guaranteed via correlation using accepted SQC (Statistical Quality Control) methods. All limits are used to calculate AOQL (Average Outgoing Quality Level).

Note 6: Output currents are pulsed ($t_W < 2\text{ ms}$, Duty Cycle $< 5\%$).

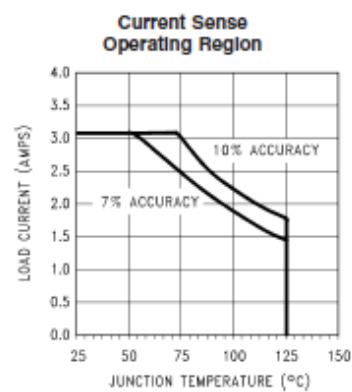
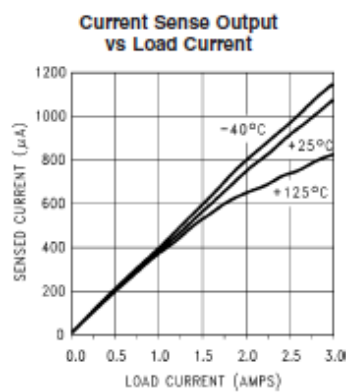
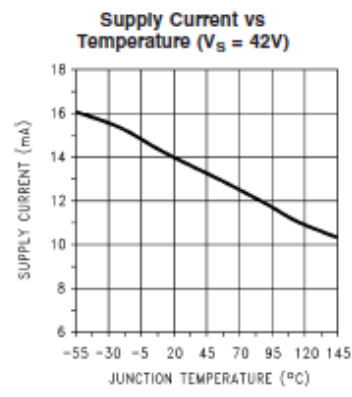
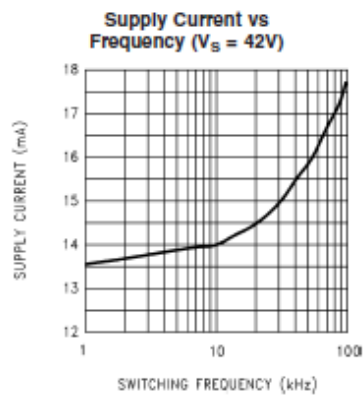
Note 7: Regulation is calculated relative to the current sense output value with a 1 A load.

Note 8: Selections for tighter tolerance are available. Contact factory.

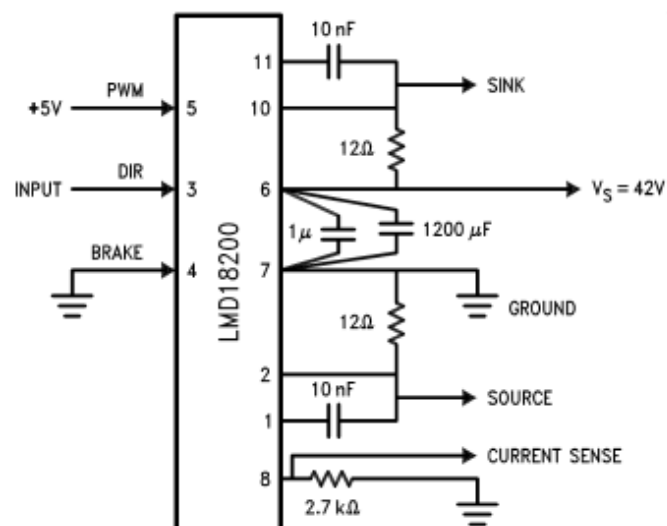
Typical Performance Characteristics



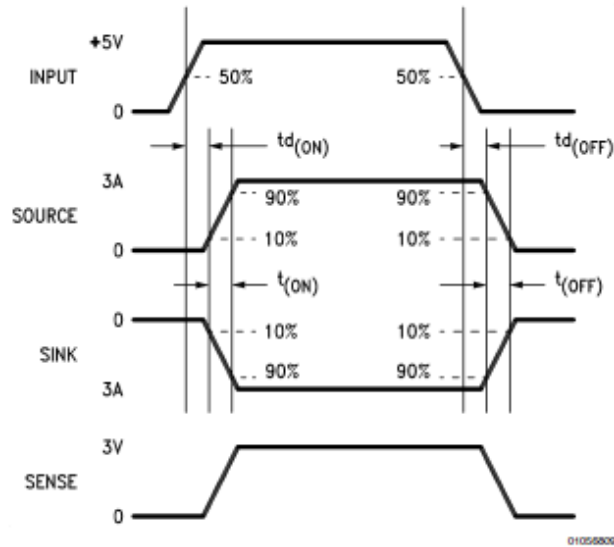
Typical Performance Characteristics (Continued)



Test Circuit



Switching Time Definitions



Pinout Description

(See Connection Diagram)

Pin 1, BOOTSTRAP 1 Input: Bootstrap capacitor pin for half H-bridge number 1. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 1 and 2.

Pin 2, OUTPUT 1: Half H-bridge number 1 output.

Pin 3, DIRECTION Input: See Table 1. This input controls the direction of current flow between OUTPUT 1 and OUTPUT 2 (pins 2 and 10) and, therefore, the direction of rotation of a motor load.

Pin 4, BRAKE Input: See Table 1. This input is used to brake a motor by effectively shorting its terminals. When braking is desired, this input is taken to a logic high level and it is also necessary to apply logic high to PWM input, pin 5. The drivers that short the motor are determined by the logic level at the DIRECTION input (Pin 3): with Pin 3 logic high, both current sourcing output transistors are ON; with Pin 3 logic low, both current sinking output transistors are ON. All output transistors can be turned OFF by applying a logic high to Pin 4 and a logic low to PWM input Pin 5; in this case only a small bias current (approximately -1.5 mA) exists at each output pin.

Pin 5, PWM Input: See Table 1. How this input (and DIRECTION input, Pin 3) is used is determined by the format of the PWM signal.

Pin 6, V_S Power Supply

Pin 7, GROUND Connection: This pin is the ground return, and is internally connected to the mounting tab.

Pin 8, CURRENT SENSE Output: This pin provides the sourcing current sensing output signal, which is typically 377 μ A/A.

Pin 9, THERMAL FLAG Output: This pin provides the thermal warning flag output signal. Pin 9 becomes active-low at 145°C (junction temperature). However the chip will not shut itself down until 170°C is reached at the junction.

Pin 10, OUTPUT 2: Half H-bridge number 2 output.

Pin 11, BOOTSTRAP 2 Input: Bootstrap capacitor pin for Half H-bridge number 2. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 10 and 11.

TABLE 1. Logic Truth Table

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Application Information

TYPES OF PWM SIGNALS

The LMD18200 readily interfaces with different forms of PWM signals. Use of the part with two of the more popular forms of PWM is described in the following paragraphs.

Simple, locked anti-phase PWM consists of a single, variable duty-cycle signal in which is encoded both direction and amplitude information (see Figure 2). A 50% duty-cycle PWM signal represents zero drive, since the net value of voltage (integrated over one period) delivered to the load is zero. For the LMD18200, the PWM signal drives the direction input (pin 3) and the PWM input (pin 5) is tied to logic high.

Application Information (Continued)

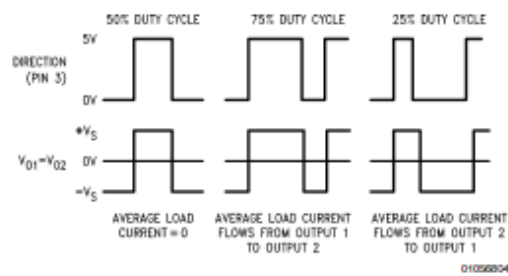


FIGURE 2. Locked Anti-Phase PWM Control

Sign/magnitude PWM consists of separate direction (sign) and amplitude (magnitude) signals (see Figure 3). The (absolute) magnitude signal is duty-cycle modulated, and the absence of a pulse signal (a continuous logic low level) represents zero drive. Current delivered to the load is proportional to pulse width. For the LMD18200, the DIRECTION input (pin 3) is driven by the sign signal and the PWM input (pin 5) is driven by the magnitude signal.

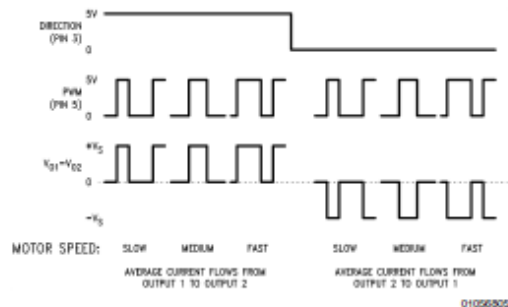


FIGURE 3. Sign/Magnitude PWM Control

SIGNAL TRANSITION REQUIREMENTS

To ensure proper internal logic performance, it is good practice to avoid aligning the falling and rising edges of input signals. A delay of at least 1 μsec should be incorporated between transitions of the Direction, Brake, and/or PWM input signals. A conservative approach is be sure there is at least 500ns delay between the end of the first transition and the beginning of the second transition. See Figure 4.

Application Information (Continued)

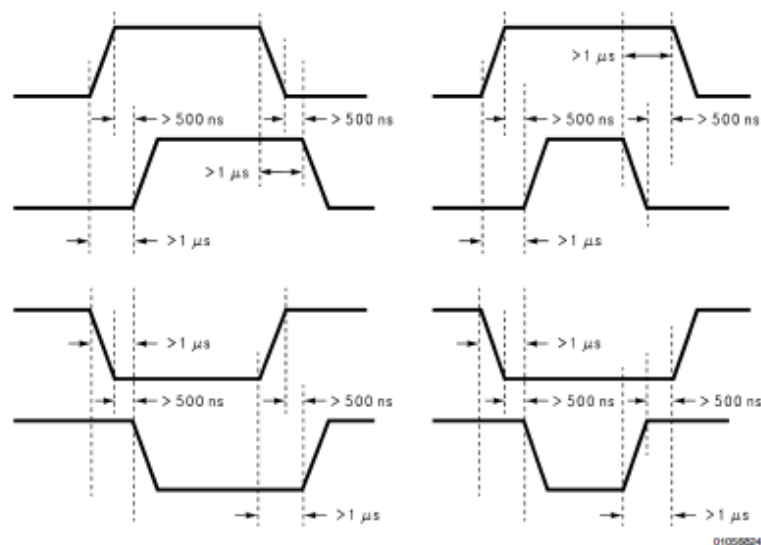


FIGURE 4. Transitions In Brake, Direction, or PWM Must Be Separated By At Least 1 μsec

USING THE CURRENT SENSE OUTPUT

The CURRENT SENSE output (pin 8) has a sensitivity of 377 μA per ampere of output current. For optimal accuracy and linearity of this signal, the value of voltage generating resistor between pin 8 and ground should be chosen to limit the maximum voltage developed at pin 8 to 5V, or less. The maximum voltage compliance is 12V.

It should be noted that the recirculating currents (free wheeling currents) are ignored by the current sense circuitry. Therefore, only the currents in the upper sourcing outputs are sensed.

USING THE THERMAL WARNING FLAG

The THERMAL FLAG output (pin 9) is an open collector transistor. This permits a wired OR connection of thermal warning flag outputs from multiple LMD18200's, and allows the user to set the logic high level of the output signal swing to match system requirements. This output typically drives the interrupt input of a system controller. The interrupt service routine would then be designed to take appropriate steps, such as reducing load currents or initiating an orderly system shutdown. The maximum voltage compliance on the flag pin is 12V.

SUPPLY BYPASSING

During switching transitions the levels of fast current changes experienced may cause troublesome voltage transients across system stray inductance.

It is normally necessary to bypass the supply rail with a high quality capacitor(s) connected as close as possible to the V_S Power Supply (Pin 6) and GROUND (Pin 7). A 1 μF high-frequency ceramic capacitor is recommended. Care should be taken to limit the transients on the supply pin below the Absolute Maximum Rating of the device. When operating the chip at supply voltages above 40V a voltage suppressor

(transorb) such as P6KE62A is recommended from supply to ground. Typically the ceramic capacitor can be eliminated in the presence of the voltage suppressor. Note that when driving high load currents a greater amount of supply bypass capacitance (in general at least 100 μF per Amp of load current) is required to absorb the recirculating currents of the inductive loads.

CURRENT LIMITING

Current limiting protection circuitry has been incorporated into the design of the LMD18200. With any power device it is important to consider the effects of the substantial surge currents through the device that may occur as a result of shorted loads. The protection circuitry monitors this increase in current (the threshold is set to approximately 10 Amps) and shuts off the power device as quickly as possible in the event of an overload condition. In a typical motor driving application the most common overload faults are caused by shorted motor windings and locked rotors. Under these conditions the inductance of the motor (as well as any series inductance in the V_{CC} supply line) serves to reduce the magnitude of a current surge to a safe level for the LMD18200. Once the device is shut down, the control circuitry will periodically try to turn the power device back on. This feature allows the immediate return to normal operation in the event that the fault condition has been removed. While the fault remains however, the device will cycle in and out of thermal shutdown. This can create voltage transients on the V_{CC} supply line and therefore proper supply bypassing techniques are required.

The most severe condition for any power device is a direct, hard-wired ("screwdriver") long term short from an output to ground. This condition can generate a surge of current through the power device on the order of 15 Amps and require the die and package to dissipate up to 500 Watts of power for the short time required for the protection circuitry

Application Information (Continued)

to shut off the power device. This energy can be destructive, particularly at higher operating voltages ($>30\text{V}$) so some precautions are in order. Proper heat sink design is essential and it is normally necessary to heat sink the V_{CC} supply pin (pin 6) with 1 square inch of copper on the PCB.

INTERNAL CHARGE PUMP AND USE OF BOOTSTRAP CAPACITORS

To turn on the high-side (sourcing) DMOS power devices, the gate of each device must be driven approximately 8V more positive than the supply voltage. To achieve this an internal charge pump is used to provide the gate drive voltage. As shown in Figure 5, an internal capacitor is alternately switched to ground and charged to about 14V, then switched to V supply thereby providing a gate drive voltage greater than V supply. This switching action is controlled by a continuously running internal 300 kHz oscillator. The rise time of this drive voltage is typically $20\text{ }\mu\text{s}$ which is suitable for operating frequencies up to 1 kHz.

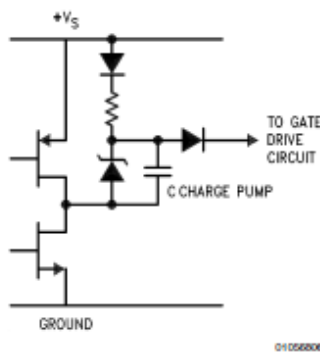


FIGURE 5. Internal Charge Pump Circuitry

For higher switching frequencies, the LMD18200 provides for the use of external bootstrap capacitors. The bootstrap principle is in essence a second charge pump whereby a large value capacitor is used which has enough energy to quickly charge the parasitic gate input capacitance of the power device resulting in much faster rise times. The switching action is accomplished by the power switches themselves Figure 6. External 10 nF capacitors, connected from the outputs to the bootstrap pins of each high-side switch provide typically less than 100 ns rise times allowing switching frequencies up to 500 kHz.

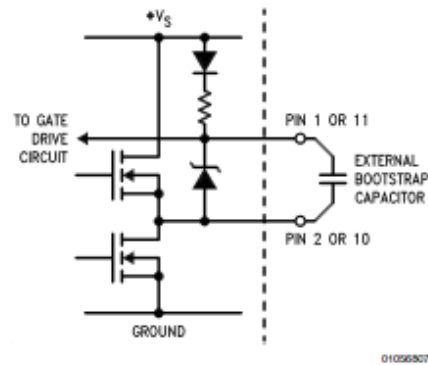


FIGURE 6. Bootstrap Circuitry

INTERNAL PROTECTION DIODES

A major consideration when switching current through inductive loads is protection of the switching power devices from the large voltage transients that occur. Each of the four switches in the LMD18200 have a built-in protection diode to clamp transient voltages exceeding the positive supply or ground to a safe diode voltage drop across the switch.

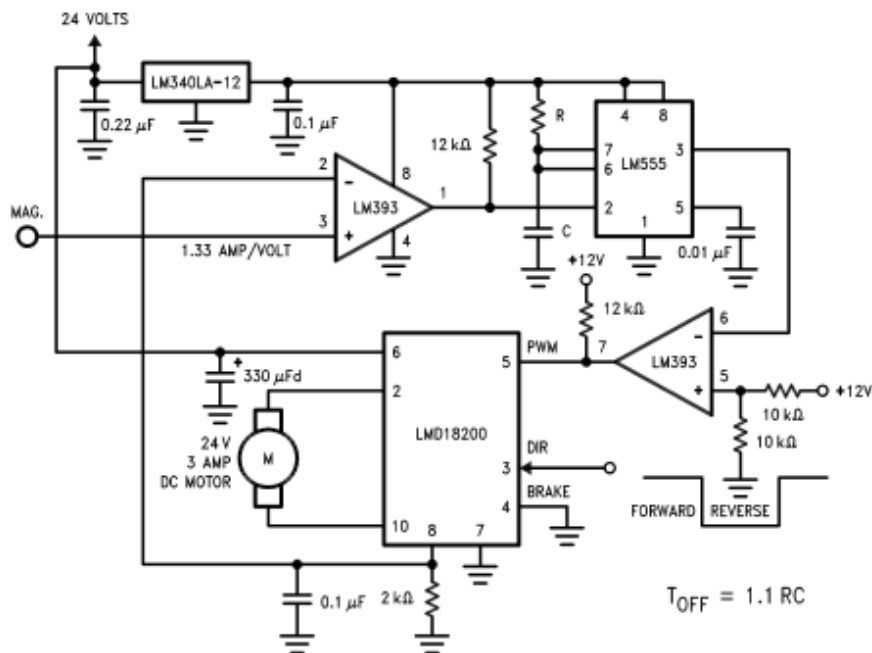
The reverse recovery characteristics of these diodes, once the transient has subsided, is important. These diodes must come out of conduction quickly and the power switches must be able to conduct the additional reverse recovery current of the diodes. The reverse recovery time of the diodes protecting the sourcing power devices is typically only 70 ns with a reverse recovery current of 1A when tested with a full 6A of forward current through the diode. For the sinking devices the recovery time is typically 100 ns with 4A of reverse current under the same conditions.

Typical Applications

FIXED OFF-TIME CONTROL

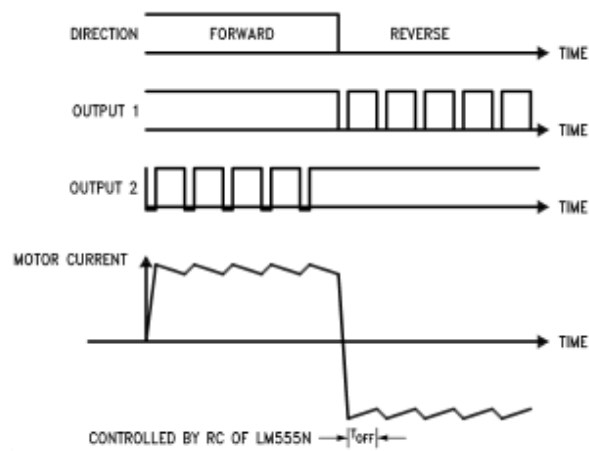
This circuit controls the current through the motor by applying an average voltage equal to zero to the motor terminals for a fixed period of time, whenever the current through the motor exceeds the commanded current. This action causes the motor current to vary slightly about an externally controlled average level. The duration of the Off-period is adjusted by the resistor and capacitor combination of the LM555. In this circuit the Sign/Magnitude mode of operation is implemented (see Types of PWM Signals).

Typical Applications (Continued)



01056810

FIGURE 7. Fixed Off-Time Control



01056811

FIGURE 8. Switching Waveforms

TORQUE REGULATION

Locked Anti-Phase Control of a brushed DC motor. Current sense output of the LMD18200 provides load sensing. The LM3524D is a general purpose PWM controller. The relationship of peak motor current to adjustment voltage is shown in Figure 10.

Typical Applications (Continued)

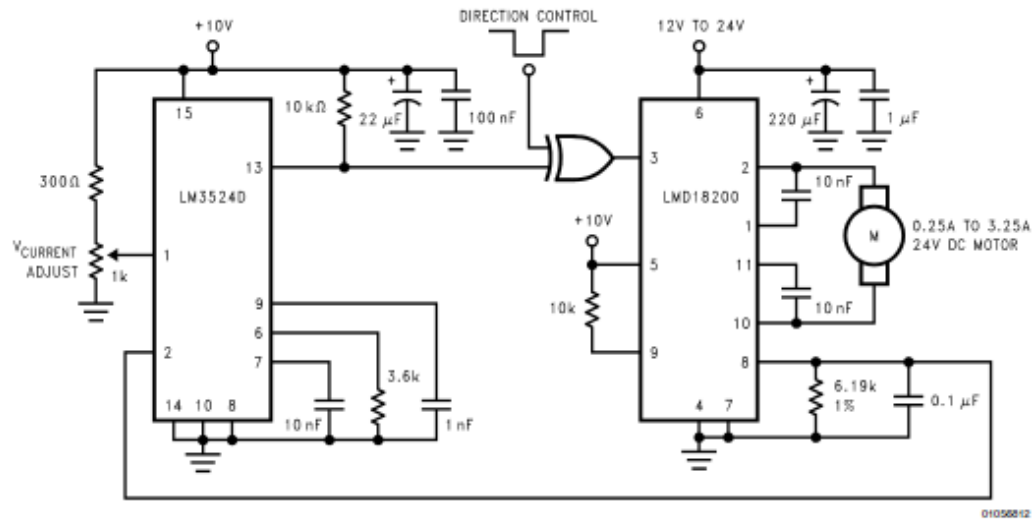


FIGURE 9. Locked Anti-Phase Control Regulates Torque

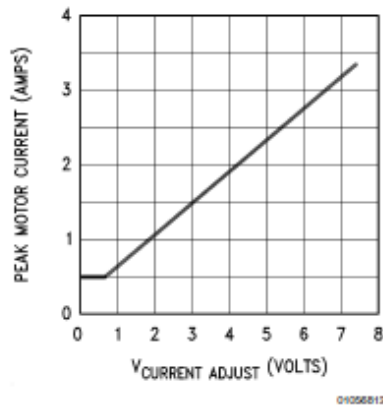


FIGURE 10. Peak Motor Current vs Adjustment Voltage

VELOCITY REGULATION

Utilizes tachometer output from the motor to sense motor speed for a locked anti-phase control loop. The relationship of motor speed to the speed adjustment control voltage is shown in Figure 12.



Typical Applications (Continued)

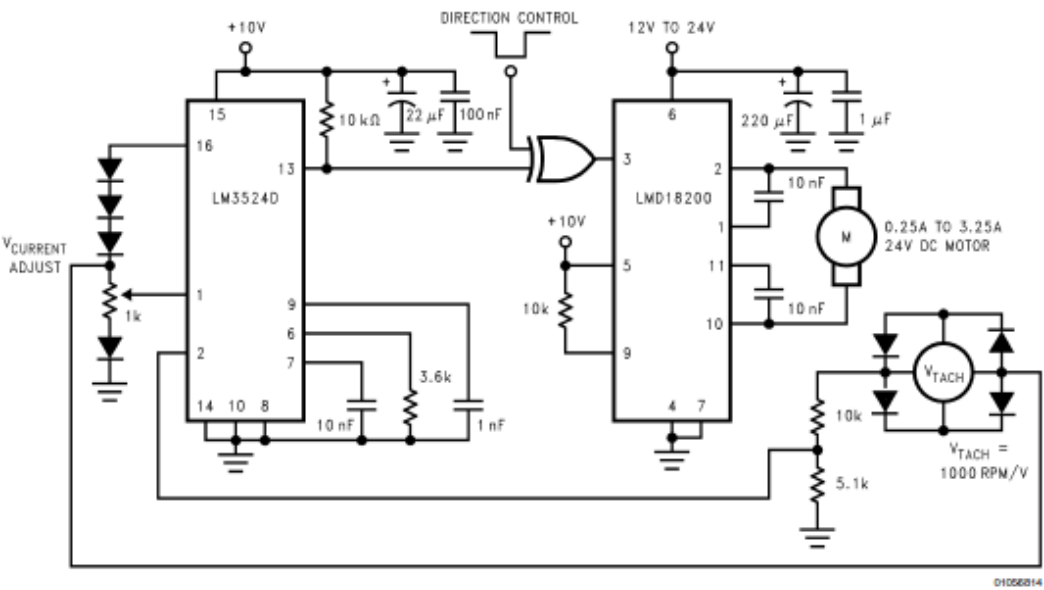


FIGURE 11. Regulate Velocity with Tachometer Feedback

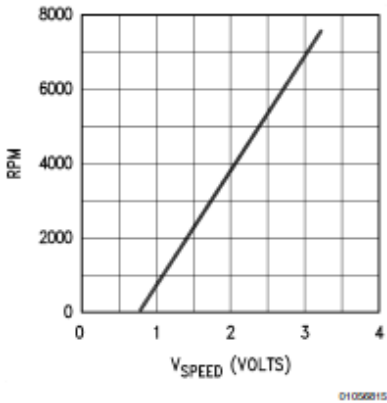
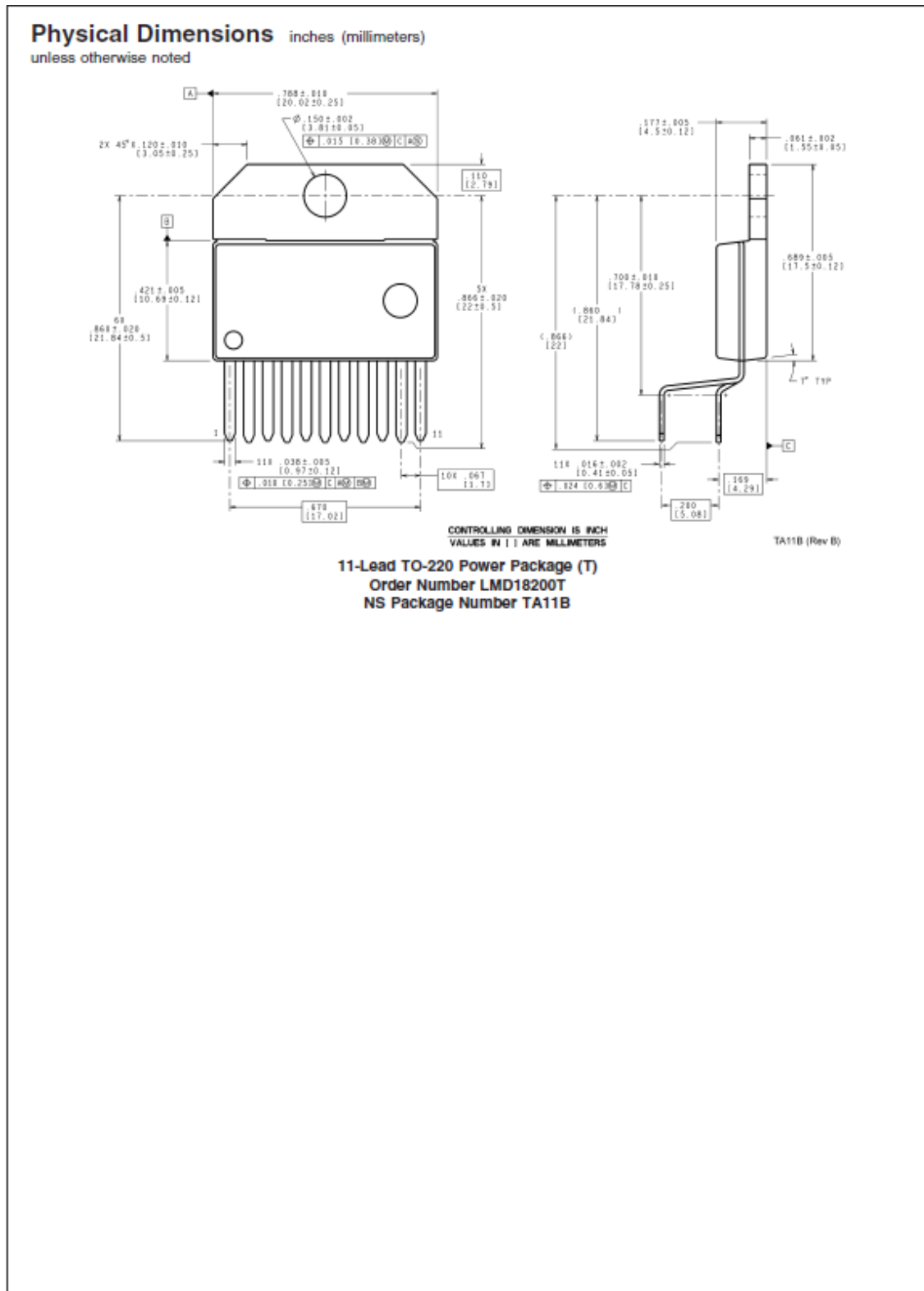
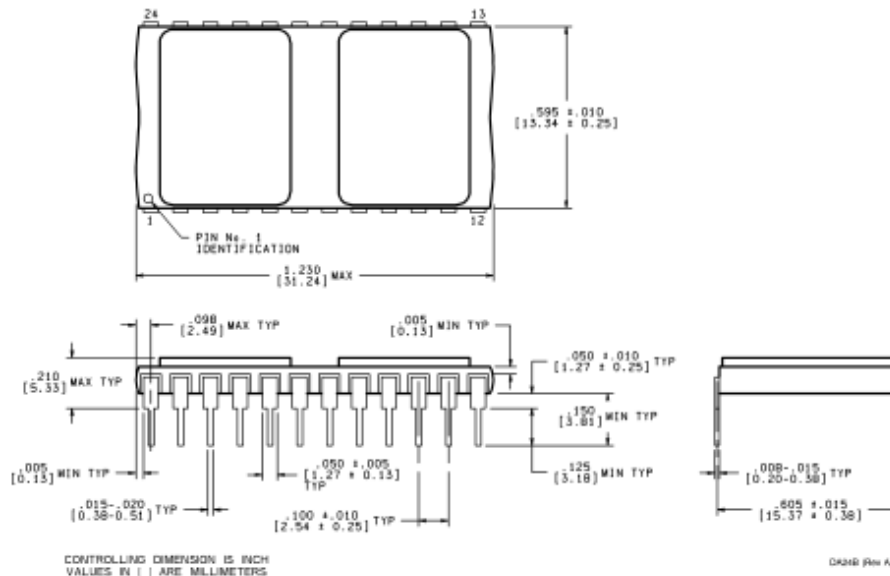


FIGURE 12. Motor Speed vs Control Voltage



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

24-Lead Dual-In-Line Package
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
NS Package Number DA24B

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

For the most current product information visit us at www.national.com.

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

BANNED SUBSTANCE COMPLIANCE

National Semiconductor manufactures products and uses packing materials that meet the provisions of the Customer Products Stewardship Specification (CSP-9-111C2) and the Banned Substances and Materials of Interest Specification (CSP-9-111S2) and contain no "Banned Substances" as defined in CSP-9-111S2.

National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
 Email: nw.feedback@nsc.com
 Tel: 1-800-272-9959

www.national.com

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europa.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
 Fax: 81-3-5630-7507
 Email: jpn.feedback@nsc.com
 Tel: 81-3-5630-7560

Regulador DC/DC MC7812C


MOTOROLA

Three-Terminal Positive Voltage Regulators

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 A. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 A
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Packages
- Previous Commercial Temperature Range has been Extended to a Junction Temperature Range of -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE

MC7805AC	5.0 V	MC7812C	12 V
LM340AT-5		LM340T-12	
MC7805C		MC7815AC	
LM340T-5	6.0 V	LM340AT-15	15 V
MC7806AC		MC7815C	
MC7806C		LM340T-15	
MC7808AC	8.0 V	MC7818AC	18 V
MC7808C		MC7818C	
MC7809C	9.0 V	MC7824AC	24 V
MC7812AC	12 V	MC7824C	
LM340AT-12			

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Operating Temperature Range	Package
MC78XXACT	2%	$T_J = -40^{\circ}$ to $+125^{\circ}\text{C}$	Insertion Mount
LM340AT-XX			
MC78XXACD2T			Surface Mount
MC78XXCT	4%		Insertion Mount
LM340T-XX			
MC78XXCD2T			Surface Mount

XX indicates nominal voltage.

Order this document by MC7800/D

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface
connected to Pin 2.



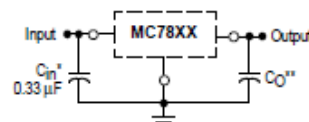
Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D²PAK)



Heatsink surface (shown as terminal 4 in
case outline drawing) is connected to Pin 2.

STANDARD APPLICATION



A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX, These two digits of the type number indicate nominal voltage.

* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response. Values of less than 0.1 μF could cause instability.

MC7800, MC7800A, LM340, LM340A Series

APPLICATIONS INFORMATION

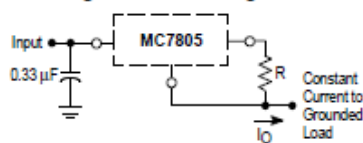
Design Considerations

The MC7800 Series of fixed voltage regulators are designed with Thermal Overload Protection that shuts down the circuit when subjected to an excessive power overload condition, Internal Short Circuit Protection that limits the maximum current the circuit will pass, and Output Transistor Safe-Area Compensation that reduces the output short circuit current as the voltage across the pass transistor is increased.

In many low current applications, compensation capacitors are not required. However, it is recommended that the regulator input be bypassed with a capacitor if the regulator is connected to the power supply filter with long

wire lengths, or if the output load capacitance is large. An input bypass capacitor should be selected to provide good high-frequency characteristics to insure stable operation under all load conditions. A 0.33 μF or larger tantalum, mylar, or other capacitor having low internal impedance at high frequencies should be chosen. The bypass capacitor should be mounted with the shortest possible leads directly across the regulators input terminals. Normally good construction techniques should be used to minimize ground loops and lead resistance drops since the regulator has no external sense lead.

Figure 7. Current Regulator



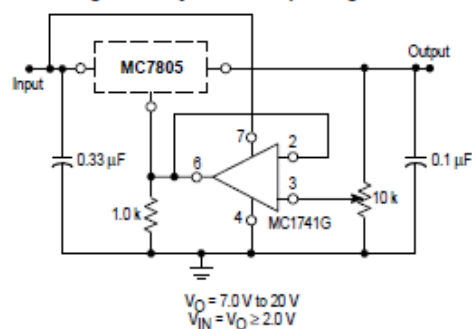
The MC7800 regulators can also be used as a current source when connected as above. In order to minimize dissipation the MC7805C is chosen in this application. Resistor R determines the current as follows:

$$I_O = \frac{5.0 \text{ V}}{R} + I_B$$

$I_B = 3.2 \text{ mA}$ over line and load changes.

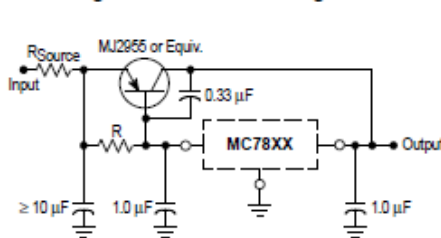
For example, a 1.0 A current source would require R to be a 5.0 Ω , 10 W resistor and the output voltage compliance would be the input voltage less 7.0 V.

Figure 8. Adjustable Output Regulator



The addition of an operational amplifier allows adjustment to higher or intermediate values while retaining regulation characteristics. The minimum voltage obtainable with this arrangement is 2.0 V greater than the regulator voltage.

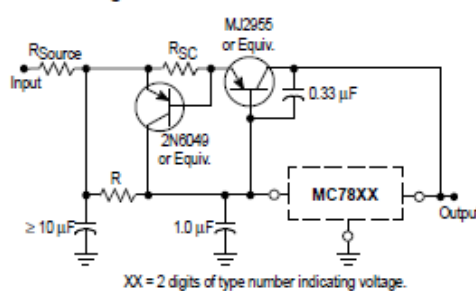
Figure 9. Current Boost Regulator



XX = 2 digits of type number indicating voltage.

The MC7800 series can be current boosted with a PNP transistor. The MJ2955 provides current to 5.0 A. Resistor R in conjunction with the V_{BE} of the PNP determines when the pass transistor begins conducting; this circuit is not short-circuit proof. Input/output differential voltage minimum is increased by V_{BE} of the pass transistor.

Figure 10. Short Circuit Protection



The circuit of Figure 9 can be modified to provide supply protection against short circuits by adding a short circuit sense resistor, R_{SC} , and an additional PNP transistor. The current sensing PNP must be able to handle the short circuit current of the three-terminal regulator. Therefore, a four-ampere plastic power transistor is specified.

Baterías NI/MH

